

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

TEMA:

“Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz
para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla
Santa Cruz- Galápagos”

AUTOR:

Preciado Torres, Einher Margoth

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de
INGENIERA EN ELECTRICIDAD

TUTOR:

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

Guayaquil, Ecuador

13 de febrero del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de Integración Curricular, fue realizado en su totalidad por **Preciado Torres, Einher Margoth**, como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERA EN ELECTRICIDAD**.

TUTOR

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, MSc

Guayaquil, a los 13 días del mes de febrero del año 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Preciado Torres, Einher Margoth

DECLARO QUE:

El Trabajo de Integración Curricular, **Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos** previo a la obtención del título de **Ingeniera en Electricidad**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR

Preciado Torres, Einher Margoth



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

AUTORIZACIÓN

Yo, **Preciado Torres, Einher Margoth**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular, **Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR:

Preciado Torres, Einher Margoth

REPORTE URKUND

Original

Document Information

Analyzed document Trabajo de Investigación sobre Preciado Torres Einher Margoth - 202140706
Submitted 2021-01-11 10:58:00
Submitted by
Submitter email efram@urkund.org.edu.ec
Similarity 3%
Analysis address 4FR371HR2ACQ87ARJUS1A-URKUND.COM

Sources included in the report

- W** URL: https://ciencia.lacalle.edu.pe/gp/viewContent.cfm?article=1860&context=ing_electrica
Retrieved: 2021-01-07 15:39:05
- W** URL: <https://ingenieria.upi.edu.ec/index.php/ingenieria/article/view/17201703/1567/Concepto>
Retrieved: 2021-01-11 00:59:00
- W** URL: <http://201139223180.pptx.esm333f17432/U-T-I-CGG-PRG-ING-01-40A.pdf>
Retrieved: 2021-01-05 01:29:37
- W** URL: <https://upcommons.kic.edu/bitstream/handle/2012/29958/104616/1/Se%20%20%20de%20una%20turbina>
Retrieved: 2021-01-09 10:16:09
- SA** Ensayo Científico centrales mareomotrices.pdf
URL: <https://www.repositorio.cebras.com/bitstream/handle/123456789/123456789>

Reporte Urkund del trabajo de "Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos" perteneciente al estudiante Preciado Torres, Einher Margoth. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 3 % de coincidencias.



Ing. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar

AGRADECIMIENTO

Primero agradezco a Dios todo poderoso por darme salud, y hacer que este aquí el día de hoy culminando una etapa más de mis estudios, por impartir sus conocimientos de manera adecuada y lograr con esto convertirme en una profesional digna de representar a esta institución que forma líderes de la república del Ecuador.

Quiero agradecer a mis padres, a mi mamá Lucia que ya no está conmigo pero que siempre fue y será mi pilar fundamental para cumplir cada uno de mis sueños, por siempre estar ahí y criarme con valores que me hacen la persona que me hacen hoy. A mi papá Alex por ser nuestro apoyo económico siempre que a pesar del estar lejos de nosotros por trabajo siempre estuvo pendiente de que no nos falte nada, y por siempre enseñarme el valor de la vida, a mi hermana que me motiva a ser su ejemplo a seguir, que ella siempre cumpla sus sueños y nunca se deje intimidar de nadie. A mis amigas con quienes compartí grandes momentos de mi vida y sé que siempre serán mi apoyo.

A mi abuelita Maruja quien en estos últimos meses estuvo cuidando de nosotros a pesar de los malos momentos que tuvimos que pasar, que nos ayudó a superar la pérdida de nuestra mamá.

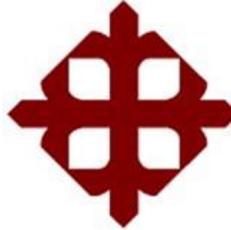
Finalmente, esto es posible gracias a mi tutor el Ing. Rafael Hidalgo y a mis profesores quienes me motivaron a seguir todos estos años, a su conocimiento impartido en las aulas, quienes me ayudaron a culminar mi carrera .

Einher Margoth Preciado Torres

DEDICATORIA

Este escrito está dedicado a Dios y a mi familia. Quiero agradecer a mi madre Lucia Torres por siempre darme el apoyo a pesar de cada error cometido y la confianza para convertirme en una profesional, si no fuera por ella no estuviera presente el día de hoy. A mi padre Alex Preciado por ser nuestro jefe de hogar por alentarnos a seguir cada día y por su apoyo en todo momento. A mi hermanita Solangel por haber estado apoyándome en cada momento de mi vida.

Einher Margoth Preciado Torres



UNIVERSIDAD CATÓLICA

DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACION TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

JOHN FRANCO RODRIGUEZ, Phd

DECANO

f. 

Ing. CELSO BAYARDO BOHORQUEZ ESCOBAR

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

MSc. Efraín Suarez Murillo

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1	3
GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACION	3
1.1. Justificación	3
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Alcance de la tesis	4
1.5. Tipo de Investigación	5
1.6. Metodología de investigación.....	5
CAPÍTULO 2	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Energía mareomotriz.....	6
2.2. Análisis de compatibilidad de recursos marinos existentes.....	9
2.3. Historia de la energía mareomotriz	11
2.4. Primeros molinos de energía hidráulica.....	11
2.5. Creación de mareas	13
2.6. Tipos de mareas	14

2.7.	Fuerza gravitacional y presión atmosférica	16
2.8	Sistemas de energía mareomotriz.....	17
2.8.1	Centrales de turbinas.....	18
2.8.2	Centrales de barreras	18
2.9.	Tipos de generadores para el aprovechamiento de las corrientes marinas	20
2.9.1	Generadores de rotor abierto.....	20
2.9.2	Generadores de eje vertical.....	20
2.9.3	Generadores de eje horizontal.....	21
2.9.4	Generadores de tipo turbina	22
2.9.5	Generadores de palas oscilantes.....	22
2.11	Energía mareomotriz en el Ecuador.....	25
2.11.1	Actualidad Ecuatoriana.....	25
2.11.2	Mar Ecuatoriano, potencial energético.....	27
2.12	Marco Legal	29
2.12.1	Constitución Nacional de la República del Ecuador.....	29
	CAPÍTULO 3.....	32
	ANÁLISIS Y DESARROLLO	32
3.1	Análisis y desarrollo para la aplicación de energía mareomotriz en la isla Santa Cruz.....	32
3.2	Normativas legales para desarrollar centrales de energía renovable en Ecuador	32
3.3	Selección de ubicación de proyecto e instalación de proyecto.....	32

3.4 Ecuaciones para selección de turbina.....	36
3.5 Aprovechamiento de energía mareomotriz mediante generador.....	43
3.6 Horas de uso.....	45
3.7 Mantenimiento de generadores.....	45
3.8 Capacidad instalada.....	46
3.9 Características de instalación	46
CAPÍTULO 4.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
4.1. Conclusiones.....	47
4.2. Recomendaciones	48
ANEXOS.....	49

Índice de figuras

Figura 1 Potencial energético marino.....	6
Figura 2 Formación de mareas	13
Figura 3 Tipos de mareas	14
Figura 4 Sistema de generación de energía mareomotriz compuesto por turbina.....	18
Figura 5 funcionamientos de las centrales de barreras.....	19
Figura 6 Generadores de rotor abierto.....	20
Figura 7 Turbinas hidro cinéticas de flujo cruzado: a) de eje horizontal, b) jaula de ardilla Darrieus, c) H-Darrieus, d) Darrieus, e) Gorlov y f) Savonius.	21
Figura 8 Generador de eje horizontal.....	21
Figura 9 Generador tipo turbina	22
Figura 10 Generadores de palas oscilantes.....	22
Figura 11 Evolución población habitual en la Provincia de Galápagos	23
Figura 12 Territorio marino ecuatoriano	27
Figura 13 Área de estudios marinos para determinar el potencial energético.	28
Figura 14 Modelo de operación INOCAR-SWAM altura de oleaje	28
Figura 15 Velocidades promedio de las olas en la costa ecuatoriana.....	29
Figura 16 street view de la ubicación de las boyas de indicación de profundidad.....	33
Figura 17 Coordenadas de ubicación de selección de instalación del proyecto.	33
Figura 18 Gráfico pleamar y baja mar	35

Figura 19 Gráfico marea diaria predicha.....	35
Figura 20 Altura Significativa de las Olas en metros.....	36
Figura 21 Eficiencia de Turbinas.....	39
Figura 22 Partes del hydrofoil	42
Figura 23 Ensamblaje de generador	45

Índice de Tablas

Tabla 1 Proyectos de instalaciones de prueba para la producción de energía eléctrica a partir de energías marinas alrededor del mundo	7
Tabla 2 Potencial de Energía Marina de países parte de OES en el mundo.	10
Tabla 3 Relación entre el oleaje y la velocidad del viento	14
Tabla 4 Clasificación internacional de las olas	16
Tabla 5 Función de la presión atmosférica en la altura de las mareas.....	17
Tabla 6 Tasa de crecimiento intercensal por parroquia (2010 – 2018)	23
Tabla 7 Potencia efectiva por isla en la provincia de las Galápagos al 31 de diciembre 2018	24
Tabla 8 Participación del consumo de energía por grupo periodo 2003-2012	26
Tabla 9 Estructura de la Generación de Electricidad Capacidad Efectiva (MW) Año 2016.....	26
Tabla 10 Predicción diaria de mareas en el Ecuador- Isla Santa Cruz (Galápagos) 2023	34
Tabla 11 Velocidad de alternadores según pares de polos.....	38
Tabla 12 Tipo de turbinas	40
Tabla 13 Parámetros utilizados.....	44
Tabla 14 Parámetros de Generador.....	44

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se desarrolla para la obtención del título de ingeniera en electricidad, teniendo como objetivo analizar el uso de boyas de energía en el mar para generar energía eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos, mediante el rozamiento mecánico que se produce con la marea y las olas activando su generador eléctrico; el más grande depósito de energía natural proviene del océano el cual se puede aprovechar de diferentes maneras. El principal motivo para desarrollar este proyecto es contribuir al medio ambiente, usando energía renovable, no invasiva para la flora y fauna marina, al igual que abastecer de energía a los cuneros de tortugas, también para que los estudiantes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil adquieran conocimientos de este recurso natural para poder realizar su aplicación en el futuro.

Palabras Claves: Turbinas, generador eléctrico, energía renovable, medio ambiente, flora, fauna, recurso natural.

ABSTRACT

The present work of curricular integration is developed to obtain the degree of electrical engineering, with the objective of analyzing the use of energy buoys in the sea to generate electrical energy in the turtle hatcheries of the Santa Cruz-Galapagos Island, through the mechanical friction that occurs with the tide and waves activating its electric generator; The largest natural energy deposit comes from the ocean which can be harnessed in different ways. The main reason for developing this project is to contribute to the environment, using renewable, non-invasive energy for marine flora and fauna, as well as supplying energy to turtle hatcheries, also for students of the Catholic University of Santiago de Guayaquil acquire knowledge of this natural resource to be able to carry out its application in the future.

Keywords: *Turbine, electric generator, renewable energy, environment, flora, fauna, natural resource.*

INTRODUCCIÓN

El petróleo es uno de los combustibles fósiles no renovables del cual la población ecuatoriana tiene dependencia, este es un problema ambiental global que tiene impacto en el cambio climático, y en la economía global ya que éste tiene un costo que es regulado por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). En la actualidad se ha logrado tener la mitad de producción de energía renovable en nuestro país, gracias al cambio de matriz energética en energías renovables, en donde se aprovechan los recursos solares, eólicos e hídricos, y se desecha energía contaminante.

Los océanos no tienen tanta incidencia como la energía solar, la radiación solar provoca un calentamiento desigual en la superficie de la tierra, la cual causa zonas con presiones diferentes, provocando vientos.

El desplazamiento de los vientos genera un rozamiento del agua con las moléculas de aire, creando olas que, transfieren y almacenan energía sin tener pérdidas.

La primera parte se darán definiciones, la segunda parte se detallarán los diferentes generadores, en el último capítulo se realiza el análisis para el óptimo uso de esta energía.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACION

1.1. Justificación

Los combustibles fósiles se usan para reemplazar las exigencias energéticas los cuales poseen consecuencias muy altas, el principal motivo es la contaminación del medioambiente y su alto valor económico, además de que generan un suministro deficiente e irregular de energía.

La energía mareomotriz se ofrece como alternativa renovable, usando el movimiento de las olas para generar energía, y almacenarlas en baterías para su posterior uso. El potencial energético que produce el océano se puede transformar en electricidad, las innovaciones energéticas con recursos renovables presentan varias propuestas tecnológicas para utilizar este tipo de energía las cuales son energía mareomotriz, undimotriz, maremotérmica y gradiente salino de mar.

La población galapaguense actualmente se encuentra preocupada por el cambio climático, el cambio de estaciones y el crecimiento de mareas y el oleaje frecuente que se da, que producen afectaciones a la isla. El territorio costero insular es de 1. 964.8 km donde el estado ecuatoriano ejerce autoridad para su control y jurisdicción con la finalidad de explotar sus recursos marinos.

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad la demanda energética debido al crecimiento de la población involucra aumentos en las exigencias de recursos, en las instalaciones comerciales, residenciales, entre otros.

El uso de recursos renovables puede realizar una gran transición hacia el sistema energético de combustibles fósiles, permitiendo así a la población adquirir conocimientos dentro del contexto del cuidado del medio ambiente, implementando herramientas específicas para lograr el objetivo.

Una de las problemáticas para el uso de energía renovable para reducir costos económicos y generar energía, es el estudio para implementar energía mareomotriz, una alternativa que beneficia al medio ambiente ya que la ubicación de los cuneros de tortugas se encuentra cerca del lugar donde se genera gran cantidad de olas, así se proveería de energía limpia y al mismo tiempo se reduce la factura de electricidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Elaborar un análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas en la isla Santa Cruz, donde se realiza el estudio para la futura instalación de turbinas con el propósito de optimizar la energía mareomotriz. Esta propuesta debe tener un impacto ambiental muy bajo para proteger la flora y fauna marina de las islas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información en base al aprovechamiento de energía renovable con principal enfoque en la mareomotriz.
- Estudiar tablas de mareas e identificar marea alta y baja para su posterior análisis.
- Realizar los cálculos para determinar la capacidad instalada del proyecto de “Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos”.

1.4. Alcance del proyecto

Dentro de este trabajo de titulación se debe dimensionar la capacidad de potencia instalada y está fuera del alcance determinar o calcular el diseño de una subestación para la transmisión o distribución de la potencia eléctrica, así mismo está fuera de alcance determinar costos por la propuesta.

1.5. Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación está basado de tipo teórico con Análisis y Gestión documental, experiencias de profesionales y criterios de especialistas, que se obtienen mediante fuentes bibliográficas como tesis, revistas científicas. En el estudio documental se determinaron definiciones esenciales, tablas de mareas, características de generadores de energía mareomotriz, modelos energéticos, materiales a usar para la construcción para cumplir con las reglas ambientales del escenario.

1.6. Metodología de investigación

El presente trabajo estuvo estructurado de tres etapas: La primera se encuentra relacionada con definiciones básicas de energía mareomotriz, historia de motores de mareas, sistema para obtener energía de las mareas, centrales mareomotrices en el mundo. Como segunda etapa se tendrán el análisis del fenómeno, análisis de mareas, tipo de aprovechamiento de energía mareomotriz y finalmente se obtuvo un estudio de los equipos mareomotrices, mediante el comportamiento de mareas, respetando las condiciones ambientales que rigen en las islas Galápagos.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Energía mareomotriz

La energía oceánica, considerada como una fuente limpia, es un tipo de recurso marítimo de gran importancia. Es esencial desarrollar y utilizar este tipo de energía para lograr un modelo energético sostenible que pueda reemplazar a los combustibles fósiles. Esto ayudaría a generar electricidad y calor. La innovación tecnológica es clave para aprovechar la disponibilidad y demanda de recursos sostenibles a largo plazo.

El mar ofrece varias opciones para generar energía, como la mareomotriz, producida por las mareas al subir y bajar. Esta energía se aprovecha mediante turbinas que se activan al mover el mecanismo del alternador



Figura 1 Potencial energético marino

Fuente: Zamora, I. V. G. (2019)

OES (Sistema de Energía Oceánica) es una institución de gobierno que está regulada por la AIE. Además, OES es una iniciativa internacional en tecnología de energía oceánica que proporciona un marco para cualquier

persona o grupo interesado en emprender un proyecto de energía oceánica, abarcando todas las formas de energía oceánica.

En las tablas siguientes se presenta un resumen de la situación actual de la energía oceánica a nivel mundial. (OES 2014).

Tabla 1

Proyectos de instalaciones de prueba para la producción de energía eléctrica a partir de energías marinas alrededor del mundo

Proyectos de instalaciones de prueba para la producción de energía eléctrica a partir de energías marinas alrededor del mundo					
Europa (15 instalaciones)					
Nombre	País	Promotor	Ubicación	Conexión a la red	Estado
Sitio de prueba FlanSea en Ostende	Bélgica	Puerto de Ostende	Ostende, Bélgica	No	Listo
Nissum Bredning	Dinamarca	Universidad de Aalborg	Benign site	Sí (20 KW)	Operacional
DanWEC	Dinamarca	DanWEC	Mar del Norte Hanstholm	Planeado en 2015	Operacional
Sitio de prueba energética Galway Bay Quarter Scale Wave	Irlanda	Instituto Marino	Galway Bay	No	Operacional
Sitio de prueba energética Olas Marinas del Atlántico (AMETS)	Irlanda	SEAI	Belmullet	Sí	En desarrollo
Oceanplug	Portugal	REN / ENONDAS	S. Pedro de Moel	Sí	Planificado
PLOCAN	España	PLOCAN	Islas Canarias	Sí (15 MW)	Planeado (finales 2014)
Bimep	España	EVE	Armintza, Bilbao	Sí (20MW)	En operación

Proyectos de instalaciones de prueba para la producción de energía eléctrica a partir de energías marinas alrededor del mundo

Europa (15 instalaciones)

Nombre	País	Promotor	Ubicación	Conexión a la red	Estado
Sitio de investigación de corrientes marinas Söderfors	Suecia	Universidad de Uppsala	Söderfors, río Dalälven	No	En operación
Lysekil sitio de investigación de energía undimotriz	Suecia	Universidad de Uppsala	Islandsberg	No	Existente (2006)
DGO - Deep Green Ocean	Suecia	Minesto	Strangford Lough, Reino Unido	No	Existente
WaveHub	Reino Unido	Claire Gibson	Hayle, Cornwall	Sí (20MW)	Existente
Solent Centro de energía oceánica	Reino Unido	Isla de Wright Consejo	Punto de Santa Catalina, Isla de Wight	Sí (20MW)	Planeado (construcción comience en el 2015)
Test Fab	Reino Unido	Falmouth Harbour Comisionado	Falmouth, Cornwall	No	Existente
EMEC	Reino Unido	Neil Kermode	Orkney, Escocia	Sí (11MW)	Existente

Asia (1 instalación)

Lugar de prueba de energía undimotriz y energía de las corrientes	China	Centro Nacional de Tecnología Océano	Chengshantou (provincia de Shandong)	Sí (0, 3MW)	Proceso de consentimiento en progreso
---	-------	--------------------------------------	--------------------------------------	-------------	---------------------------------------

Oceanía (1 instalación)

Proyectos de instalaciones de prueba para la producción de energía eléctrica a partir de energías marinas alrededor del mundo

América del Norte (5 instalaciones)

Fundy Ocean Research Centre for Energy (FORCE) - Tidal Energy	Canadá	FORCE	Mirus Passage (Nueva Escocia, Canadá)	Si (84MW)	Existente
Turbina hidrocinética canadiense Centro de Pruebas (CHTTC) - River Energy actual	Canadá	Pedido: Universidad de Manitoba	Río Winnipeg, Manitoba	No - conexión a la red planificada para el 2014	Existente
PNEC - CONJUNTOS	Estados Unidos de América	NIMREC y OSU	Newport, Oregón	Si (~ 10 MW)	Predicción 2018
PNEC - NETS	Estados Unidos de América	NIMREC y OSU	Norte de Yaquina	No	Operativo
Kaneohe Sitio	Estados Unidos de América	HIMREC	Marine Corps Base Hawaii, Kaneohe Bay, Hawaii	Si	Operativo

Fuente: Quintero & Quintero, 2015.

2.2. Análisis de compatibilidad de recursos marinos existentes

Existen varias tecnologías que permiten producir energía, especialmente electricidad, a partir de los distintos recursos del medio marino, como el oleaje, las corrientes, las mareas, el gradiente de temperatura y también el viento.

Los recursos marinos se superponen en áreas positivas para la energía de las olas. Se llevan a cabo dos tipos de análisis utilizando datos de usos

humanos y características ecológicas en el mar ecuatorial; el valor económico de los pescadores.

Para los primeros análisis, se utilizan datos específicos sobre usos humanos y características ecológicas de las islas. La identificación de áreas con alto valor ecológico es importante para los usos humanos, se recopilan datos de características ecológicas y los usos de la flora marina.

Tabla 2

Potencial de Energía Marina de países parte de OES en el mundo.

Continente	Recurso	Capacidad (KW)	
		Instalada	Permitida
Asia	Mareas	257.900	200
	Corrientes	1.110	3.600
	Olas	190	3.820
	Gradiente térmico	20	200
Europa	Olas	5.166	70.800
	Corrientes	5.267,5	96.000
	Salinidad	4	0
Oceanía	Olas	0	43.250
	Corrientes	0	201.000
Norteamérica	Mareas	20.000	0
	Corrientes	310	6.850
	Olas	30	1.500

Fuente: Quintero & Quintero, 2015.

2.3. Historia de la energía mareomotriz

En la prehistoria las fuentes de energía eran derivadas de la fuerza física del ser humano, los animales, el viento y agua; en el siglo XVIII en la primera revolución industrial se dio a conocer el carbón como fuente de energía, donde mediante el vapor se producía independientemente energía, según las condiciones de su entorno. en la segunda Revolución Industrial la tecnología encontró fuentes de energía fósiles como el petróleo. (*energía mareomotriz: perspectiva histórica y actual*, 2012)

El calentamiento global es consecuencia de los efectos producidos por el hombre, la escasez de recursos no renovables en un futuro ha generado alternativas para el uso de la naturaleza como fuentes de energías renovables.

El océano tiene un gran depósito de energía para su aprovechamiento, la energía undimotriz usa el movimiento de las olas; la energía mareomotérmica se obtiene por diferencia de temperatura de la superficie marina, etc. Extraída mediante procesos de ósmosis.

El uso de fuerza de corrientes marinas es una alternativa para el uso; las energías renovables convencionales son de gran competencia para la producción de energía marítima, la tecnología adecuada debe ser accesible económicamente y que el precio del kilovatio sea mucho menor al de las fuentes de energía convencionales. (*Energia-mareomotriz.pdf*, s. f.)

2.4. Primeros molinos de energía hidráulica

2.4.1. Molinos Manuales.

El hombre de las cavernas del Neolítico motivó el cambio de la forma de vida con las primeras formas de comercio y nuevos hábitos alimenticios; el cultivo se evidenció de primera mano por la necesidad que se presentaron, esté pasó de comer los cereales a usar molinos para migar los granos. (*La energía mareomotriz | Formación de ingenieros*, s. f.)

Usaban morteros de piedra o machacadores, estos eran utilizados con golpes para crear una harina con la que se elaboraban papillas, galletas. Los celtiberos tenían molinos rotativos, está elaborado de piedras circulares planas, este es muy pequeño donde la piedra principal (superior) es móvil, y la piedra secundaria (inferior) es fija, se aplica una fuerza de rotación en la piedra móvil para poder moler.

2.4.2. Molinos Hidráulicos.

Los Grecorromanos usaban los molinos hidráulicos que eran artefactos que para producir energía mecánica transforman la fuerza del agua para poder moler todos los cereales, Marco Vitrubio en su libro de Arquitectura describe sobre una rueda vertical.

El primer complejo industrial harinero fue construido por los franceses utilizando fuerza hidráulica, usaron 16 molinos de forma paralela a la otra, para así aprovechar la fuerza de la caída del agua desde la parte superior, el suministro del líquido se realizaba a través de los acueductos.

La energía hidráulica se amplió en la edad media, donde no solo se usaba para moler cereales, también se usó en industrias. El cubo es parte del medioevo es un depósito con un orificio grande donde se aplica agua a presión y gira la rueda, este sistema aprovechaba mucho mejor los recursos del río. (*energía mareomotriz: perspectiva histórica y actual*, 2012)

2.4.3. Molino de mareas.

Las subidas y bajadas del nivel mar es aprovechada por los molinos de mareas donde estas hacen girar las piedras del molino, para así moler el cereal, cuando se produce pleamar el agua se retiene en el sistema de compuertas, al subir la marea se va almacenando el agua, cuando se produce bajamar las compuertas se abren, liberan el líquido retenido y pierde potencia hasta detenerse.

Esto depende de la amplitud de la marea cada día, este fenómeno es diferente en el año obligando al ser humano moler en diferentes horarios, estos están contruidos en embalses y son manejados por mujeres. Estos molinos tienen su uso más frecuente en el Atlántico por que la marea es más fuerte, también dependen del desarrollo geográfico.

2.5. Creación de mareas

La luna y el sol son los principales factores en la generación de mareas. La fuerza gravitatoria y la fuerza centrífuga causan el aumento o disminución del nivel del agua en las costas, esto cambia según la estación del año, la geomorfología y la alineación de la luna. La luna ejerce una fuerza de atracción mucho mayor que el sol, debido a su cercanía a la Tierra, lo que provoca un aumento en las mareas que ocurren cada 24 horas.

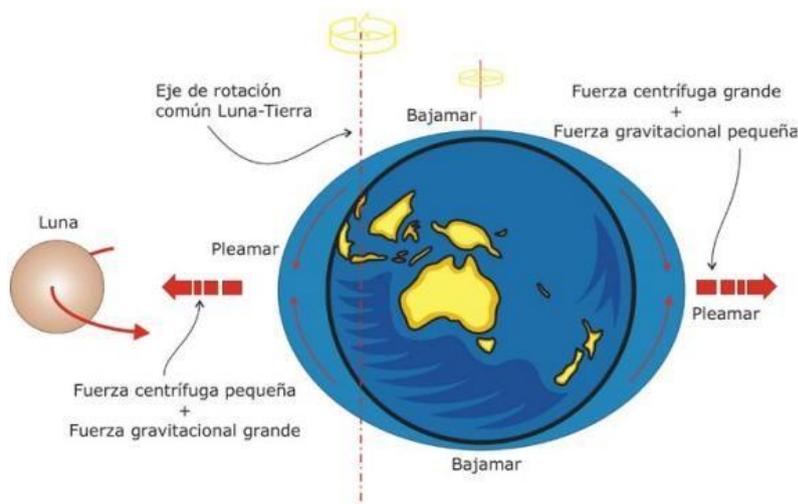


Figura 2 Formación de mareas

Fuente: Mareas - INNOVA oceanografía litoral. (2021)

El mayor aumento de la marea se produce en la zona más cercana a la luna. El otro aumento de la marea se debe a las fuerzas centrífugas generadas por la rotación de la Tierra. Cuando la luna está alineada con la Tierra, se produce una marea baja.

La inclinación de la Tierra no es perfecta, lo que provoca diferencias en las fuerzas de atracción. Además, existen mareas meteorológicas impredecibles o cíclicas debidas a cambios en la presión atmosférica.

2.6. Tipos de mareas

La Tierra no es una esfera perfecta, lo que provoca una variación en la fuerza gravitatoria durante las fases de luna nueva y llena, causando mareas muy altas y bajas, con velocidades que varían entre 3 y 5 metros por segundo.

Al dar una vuelta completa cada 24 horas, la luna no se desplaza, pero un punto fijo en la tierra tardará 50 minutos adicionales para alinearse con el punto fijo en la luna.

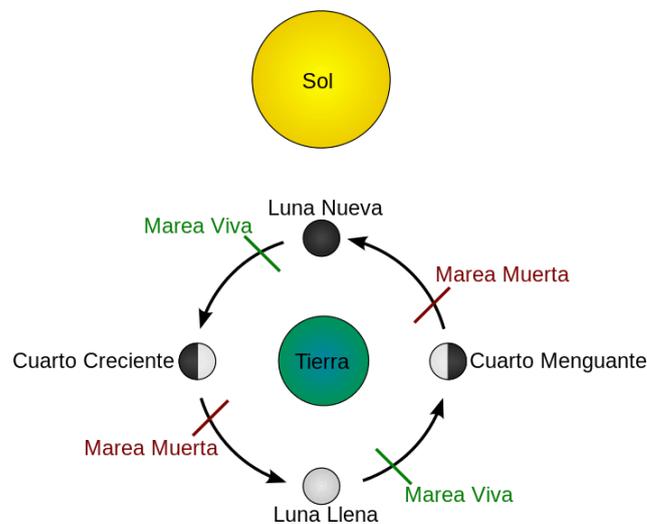


Figura 3 Tipos de mareas

Fuente: Moro Hernandez, J. (2013)

Las mareas muertas se producen cuando la luna y el sol están situados a 90 grados uno del otro, ya que estas fuerzas gravitatorias se contrarrestan y causan mareas menores a las normales. Por otro lado, las mareas de primavera causan una gran fuerza gravitatoria, lo que produce mareas muy altas, esto sucede cuando la luna, el sol y la Tierra están alineados.

Por lo general, el mar en la mañana tiene una superficie lisa, lo que se conoce como mar plano o mar de lágrimas. Sin embargo, cuando hay una brisa ligera, se forman pequeñas ondulaciones en la superficie del mar debido a las olas más pequeñas que la transforman hacia el mar.

Tabla 3

Relación entre el oleaje y la velocidad del viento

Oleaje	Viento	Velocidad
Lizo	Tranquilo	0 – 0,5
Rizado	Brisa leve	1,5 – 3,5
Suave	Brisa suave	3,5 – 5,5
Leve	Brisa moderada	5,5 – 8,0
Moderado	Brisa fresca	8,0 – 10,5
Fuerte	Ventarrón	12,0 – 20,0
Borrascoso	Tormenta	25,0 – 30,0
Excepcionalmente Borrascoso	Huracán	35,0 a +

Fuente: Medina, P. J. V. (2021).

La velocidad del viento y la altura de las olas están directamente relacionadas, es decir, a medida que la velocidad del viento aumenta, la altura de la ola también aumenta más rápido de lo que lo permite su longitud, lo que provoca la formación de espuma en la cresta antes de que la ola rompa.

Además, la dirección del viento también juega un papel importante en la formación de olas. El viento que sopla en la misma dirección y velocidad durante un período prolongado puede generar olas más grandes y regulares. El viento que cambia de dirección y velocidad puede generar olas más pequeñas y menos regulares. La distancia desde la que el viento sopla también es importante, ya que cuanto más lejos sopla el viento, más tiempo tiene para generar olas. La velocidad del viento también afecta la forma de las olas, ya que las olas creadas por vientos más rápidos suelen ser más puntiagudas y estrechas, mientras que las olas creadas por vientos más lentos suelen ser más redondas y anchas.

Existen diversas formas en las que las olas ordinarias pueden ocurrir en el mar, por lo que se ha desarrollado y adoptado una clasificación internacional de olas, la cual se presenta en la tabla a continuación.

Tabla 4

Clasificación internacional de las olas

Mar número	Denominación del mar	Altura de las olas (en metros)
0	Calma	0
1	Rizada	0 - 0,1
2	Marejadilla	0,1 - 0,5
3	Marejada	0,5 - 1,25
4	Mar gruesa	1,25 - 2.5
5	Mar muy gruesa	2,5 – 4,0
6	Tormenta	4,0 – 6,0
7	Arbolada	6,0 – 9,0
8	Montañosa	9,0 – 14,0
9	Enorme	Mayor que 14

Fuente: Medina, P. J. V. (2021).

2.7. Fuerza gravitacional y presión atmosférica

La influencia gravitatoria del sol y la luna es rítmica y cíclica debido a la órbita de la Tierra alrededor del sol. El agua cercana a la luna es atraída con mayor intensidad que la Tierra. Las mareas altas y bajas son el resultado de este efecto en los lados opuestos de la Tierra. (Montaño & Ramirez, 2008)

La fuerza gravitatoria del sol y la luna ejerce un impacto sobre la Tierra, causando las mareas. Actualmente, la luna es el cuerpo celeste que ejerce mayor influencia en las mareas debido a su cercanía a la Tierra.

Cuando el ángulo entre el sol, la luna y la Tierra es de 90 grados, se considera que hay una "marea muerta", ya que las fuerzas de atracción se oponen.

Esto sucede durante los cuartos crecientes y menguantes. Además, la presión atmosférica también tiene un impacto en los niveles de las mareas debido a la relación entre el peso de una masa de aire y el área que ocupa.

A continuación, se presenta una relación entre las mareas y la presión atmosférica.

Tabla 5

Función de la presión atmosférica en la altura de las mareas

Presión atmosférica		Corrección
En milímetros	En milibares	En metros
722	963	+0,50
726	968	+0,45
730	973	+0,40
734	978	+0,35
738	983	+0,30
741	988	+0,25
745	993	+0,20
749	998	+0,15
752	1003	+0,10
756	1008	+0,05
760	1013	0,00
764	1018	-0,05
768	1023	-0,10

Fuente: Astaburuaga, A. I. (2015)

2.8 Sistemas de energía mareomotriz

En cuanto a la generación de energía marina, existen principalmente dos enfoques para aprovechar la energía de las mareas: uno es el uso de la energía potencial de las barreras y el otro es el uso de la energía cinética de las mareas mediante turbinas de flujo abierto.

2.8.1 Centrales de turbinas.

Según un estudio de Jo et al. (2012), el rotor es un componente vital para convertir la energía de las corrientes marinas en energía de rotación en los sistemas de generación de energía marina conocidos como TCP (Power Tidal Current o corrientes de marea).

El aumento de potencia depende netamente del diseño del rotor. El rendimiento del rotor puede evaluarse a través de diferentes parámetros, como el número de palas, la forma, el tamaño de la sección, el cubo, el diámetro, entre otros.

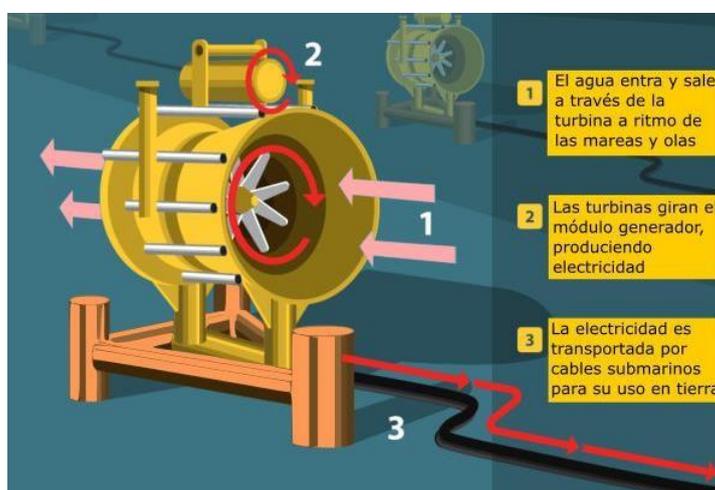


Figura 4 Sistema de generación de energía mareomotriz compuesto por turbina

Fuente: Vista de Sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz. (2015)

Las palas del rotor son una parte esencial para convertir la energía de las mareas en energía de rotación para generar electricidad. El diseño y características de las palas afectan significativamente el rendimiento, la eficiencia y la estabilidad del sistema de turbina.

2.8.2 Centrales de barreras.

Las barreras o represas son estructuras construidas a través de estuarios o bahías para controlar los niveles extremos de marea. Para que funcionen adecuadamente, la distancia entre estas estructuras debe ser de al menos 5 metros.

El objetivo de estas barreras o diques es permitir que el agua fluya hacia el estuario durante la marea alta, mediante la apertura de compuertas en la barrera. Una vez que la marea comienza a bajar, las compuertas se cierran para retener el agua en el estuario.

A medida que la marea retrocede a través de la barrera, se abren las compuertas que albergan las turbinas, lo que genera una diferencia en los niveles de agua dentro y fuera de la barrera. (Castro, 2015)

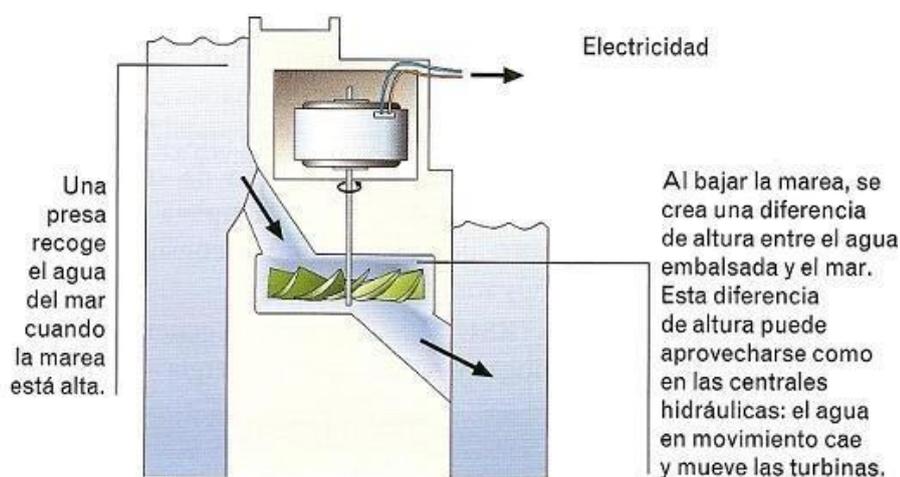


Figura 5 funcionamientos de las centrales de barreras

Fuente: (Quintero González, 2016)

La barrera permite el flujo de agua a través de sus puertas, impulsando las turbinas y generando electricidad. Sin embargo, la dirección del flujo a través de la barrera puede afectar la eficiencia y rentabilidad del proyecto. La tecnología utilizada en esta barrera es similar a la de las centrales hidroeléctricas.

La construcción de esta barrera requirió un proyecto de construcción a largo plazo, y puede tener efectos negativos en la ecología y el medio ambiente, así como cambios permanentes en el área afectada.

Sin embargo, es difícil predecir exactamente cómo serán estos efectos ya que varían dependiendo del lugar y cada barrera es única (Castro, 2015)

2.9. Tipos de generadores para el aprovechamiento de las corrientes marinas

Actualmente, se están desarrollando varias tecnologías para utilizar de manera más eficiente la energía marina, pero aún se encuentran en etapa de prototipos teóricos y se están preparando para su construcción y evaluación de eficacia. Por otro lado existen 5 tipos principales de generadores de energía marina, conocidos como CHP, en funcionamiento en todo el mundo, algunos de los cuales se describen a continuación.

2.9.1 Generadores de rotor abierto.

El generador tiene un núcleo central desde el cual se extienden varias hélices, generalmente de 2 o 3 pasos fijos o controlados. El eje de rotación del generador es horizontal y está paralelo a la corriente oceánica. Este modelo es similar a los aerogeneradores, ya que utilizan el mismo principio de aprovechar la energía cinética proporcionada por un recurso natural. (García,2016)



Figura 6 Generadores de rotor abierto

Fuente: (Energía Mareomotriz, 2022)

2.9.2 Generadores de eje vertical.

El eje de un convertidor de energía es perpendicular a la corriente del agua, lo que permite que el dispositivo funcione. Consiste en un conjunto de hojas en espiral, también conocido como Darrieus o Gorlov, pero también puede ser un eje de péndulo (como en la turbina Kobold). (García,2016)

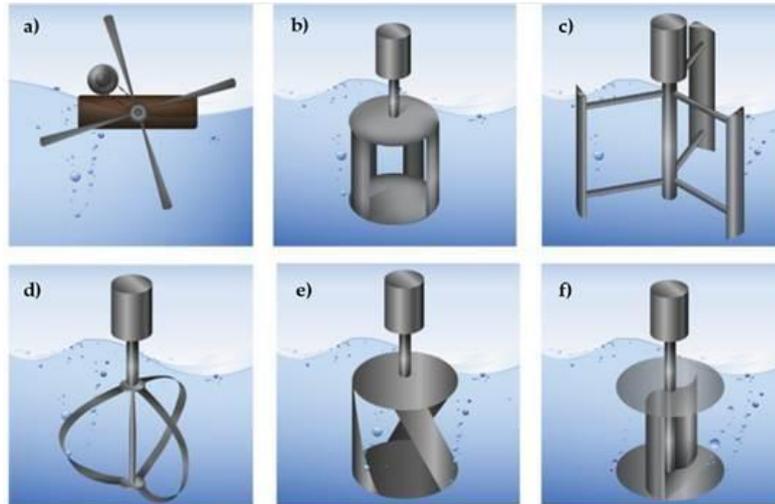


Figura 7 Turbinas hidro cinéticas de flujo cruzado: a) de eje horizontal, b) jaula de ardilla Darrieus, c) H-Darrieus, d) Darrieus, e) Gorlov y f) Savonius.

Fuente: (Vermaak et al, 2014)

2.9.3 Generadores de eje horizontal.

Estos generadores están bien adaptados para su uso en aguas poco profundas, son una variante del generador de eje vertical y su eje también está en posición perpendicular a las corrientes oceánicas. (García,2016)

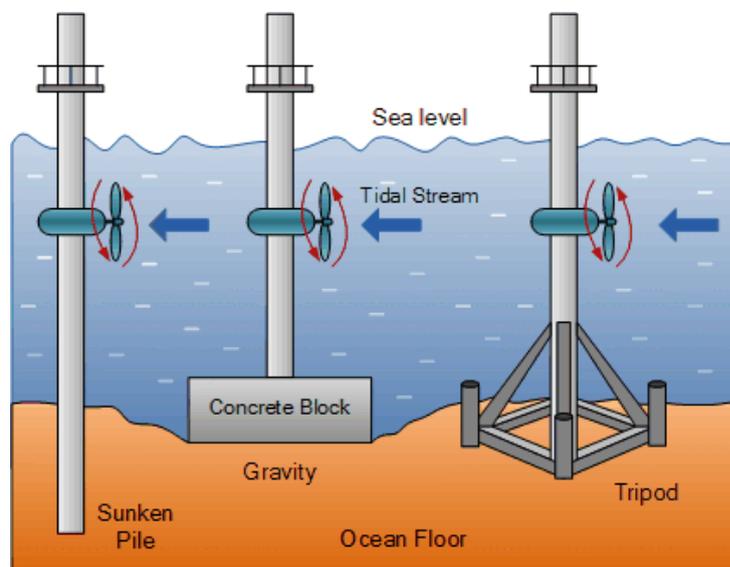


Figura 8 Generador de eje horizontal

Fuente: (García, 2016)

2.9.4 Generadores de tipo turbina.

Este diseño cuenta con impulsores montados en el anillo exterior, el rotor es fijo y simétrico, lo que permite su funcionamiento en ambas direcciones y un mayor flujo. El estator tiene una forma similar a una boquilla. (García,2016)



Figura 9 Generador tipo turbina

Fuente: (*Bienes Comunes*, 2012)

2.9.5 Generadores de palas oscilantes.

Se pueden colocar en aguas poco profundas con un eje en posición horizontal para que las aspas también queden en la misma posición, su funcionamiento es similar al de la cola de un pez. (García,2016)

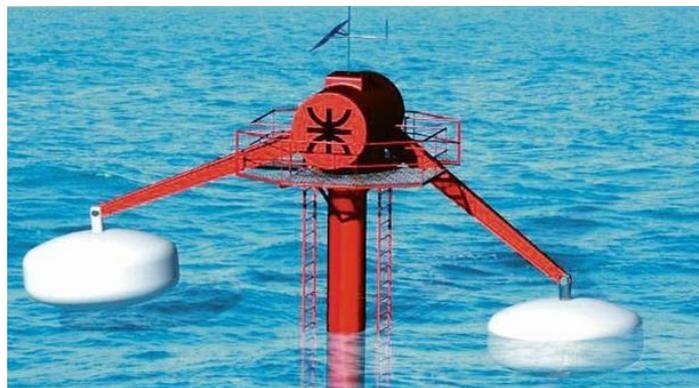


Figura 10 Generadores de palas oscilantes

Fuente: (*ámbito*,2022)

2.10 Consumo energético de las Islas Galápagos

El gobierno ecuatoriano planea implementar sistemas de generación de energía basados en fuentes limpias y únicas para reducir la necesidad de transportar combustibles fósiles y, por lo tanto, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Según las estimaciones proyectadas de la población para 2018, se espera que en la provincia de Galápagos haya un total de 31. 600 personas, con una tasa de crecimiento positiva.

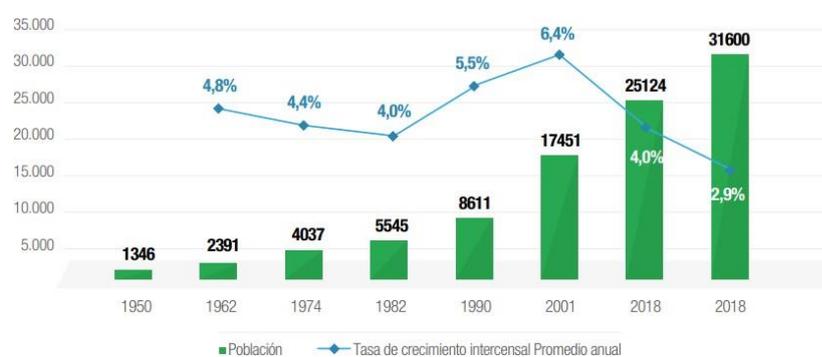


Figura 11 Evolución población habitual en la Provincia de Galápagos

Fuente: *Memoria Estadística Galápagos 2017 INEC*

Tabla 6

Tasa de crecimiento intercensal por parroquia (2010 – 2018)

Cantón /Parroquia	2010	2018	Tasa de crecimiento intercensal
Cantón Santa Cruz	15393	19404	2,9%
Cantón San Cristóbal (no incluye Floreana)	7339	9167	2,8%
Parroquia Floreana del Cantón San Cristóbal	136	111	-2,5%
Cantón Isabela	2256	2918	3,2%
TOTAL	25124	31600	2,9%

Fuente: Memoria estadística Galápagos 2017 INEC

Como se puede ver en la figura 11, la población visitante muestra un aumento constante. Esto tiene un impacto directo en la demanda de electricidad debido al aumento de turistas que llegan a las islas.

En las Islas Galápagos, la forma de generar energía es mediante sistemas independientes para cada isla. Estos sistemas están compuestos principalmente por centrales térmicas y centrales eléctricas que generan electricidad a partir de fuentes renovables, como parques eólicos, plantas fotovoltaicas, sistemas de almacenamiento de energía y motores duales que utilizan biocombustibles (aceite de caja de cambios). Consejo Nacional de Planificación. (2018)

Tabla 7

Potencia Efectiva por isla en la provincia de las Galápagos al 31 de diciembre 2018

Isla	Térmica (MW)	Eólica (MW)	FV (MW)	Subtotal (MW)	Baterías (MW)
San Cristóbal	7,19	2,4	0,01	9,61	
Santa Cruz- Baltra	11,85	2,25	1,6	15,7	Pb-Acido: 0,5MW; 4,03MWh Ion-litio: 0,5MW; 0,27MWh
Isabela	2,1		0,95	3,05	Ion-litio: 0,66MW - 0,33MWh
Floreana	0,24		0,02	0,26	Pb-Acido:0,07MW; 0,38MWh
Total	21,38	4,65	2,58	28,62	

Fuente: ELECGALAPAGOS S.A.

2.11 Energía mareomotriz en el Ecuador

2.11.1 Actualidad ecuatoriana.

Este tipo de tecnología aún no ha sido desarrollada en Ecuador, la información disponible se basa en la experiencia de una central en Francia en el río Rance.

El modelo similar utilizado en Francia despierta grandes expectativas sobre la posibilidad de probar la viabilidad técnica de generar energía eléctrica en la confluencia del río Guayas con el mar en el Golfo de Guayaquil. Esto permitirá realizar investigaciones en esta área en función de los resultados obtenidos, y continuar con las próximas etapas de aprovechamiento de la energía del río Guayas para generar hidroelectricidad a partir de la energía marina, y desarrollar factores comunes que combinen diferentes tendencias en la conversión mecánica de la energía undimotriz y la energía marina.

El objetivo del estudio también es fomentar la investigación científica en el país, donde se puede desarrollar la tecnología mediante la construcción de pequeñas presas de mareas. Sin embargo, se requieren avances significativos antes de que se pueda llevar a cabo un proyecto de este tipo en Ecuador. (Consejo Nacional de Electricidad,2022)

El consumo de energía se ha mantenido en crecimiento en los últimos 15 años en este sentido, la industria es responsable de una media del 31 % del consumo energético como se detalla en la tabla a continuación.

Tabla 8*Participación del Consumo de Energía por Grupo periodo 2003-2012*

Sectores	Años	
	2003	2012
Residencial	36,00%	35,00%
Comercial	19,00%	20,00%
Industrial	29,00%	31,00%
Alumbrado Público	7,00%	5,00%
Otros	9,00%	9,00%

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (2016)

Dentro del sector de mayor crecimiento en consumo eléctrico que es el industrial el cual pasa de un 29 % a 31 % con un aumento de +2 punto, la estructura de la generación eléctrica se detalla a continuación.

Tabla 9*Estructura de la Generación de Electricidad Capacidad Efectiva (MW) Año 2016*

Fuentes de Energías	Porcentaje
Hidráulica	
Térmica MCI	
Térmica Turbo vapor	
Térmica Turbo gas	
Fotovoltaica	
Biomasa	
Biogás	
Eólica	
Sola	
-	

Fuente: (López, Fuertes, Vaca, & Cárdenas, 2016)

2.11.2 Mar Ecuatoriano, potencial energético.

El análisis de las características de las olas se basa en la información obtenida de la base de datos de INOCAR. La figura presentada ilustra la zona costera específica donde se evalúa la potencia en kW/m en Ecuador. INOCAR es una institución que registra el comportamiento del mar. El promedio de consumo de energía de las olas en Ecuador es de 14 kW/m. (Chimbo, & Rodríguez, 2016).

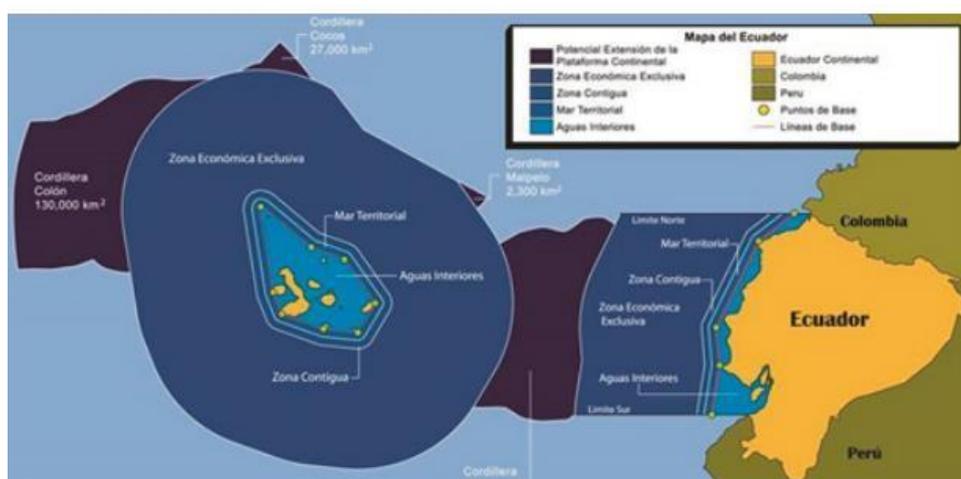


Figura 12 Territorio marino ecuatoriano

Fuente: (Chimbo, & Rodríguez, 2016).

La forma en que las olas se comportan a profundidades mayores a 2000 metros se mantiene constante. Para evaluar su potencial energético es necesario determinar la frecuencia y el tamaño de estas. Se utilizan boyas en el suroeste de Esmeraldas para detectar inundaciones y, según los últimos datos recolectados, las olas tienen una altura promedio de 1.5 a 2 metros y una duración de 12 a 15 segundos. (Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada - Oleaje y aguaje, s.f.)

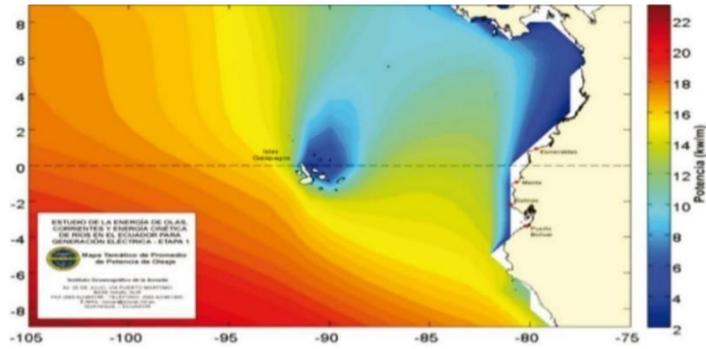


Figura 13 Área de estudios marinos para determinar el potencial energético.

Fuente: (Chimbo, & Rodríguez, 2016).

A continuación, se observa una grilla del Ecuador, donde se muestra en metros los oleajes en el perfil costanero.

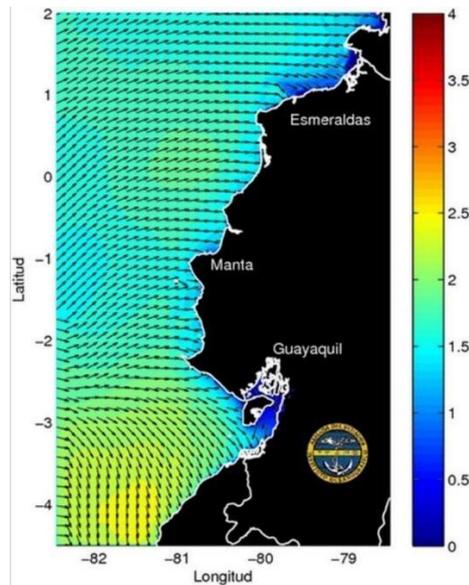


Figura 14 Modelo de operación INOCAR-SWAM altura de oleaje.

Fuente: (Chimbo, & Rodríguez, 2016)

La figura 15 indica que las velocidades de las olas en la costa ecuatoriana no exceden 1 metro por segundo. El gráfico indica que las áreas con las mayores velocidades se encuentran en las provincias de Guayas y El Oro, con los registros máximos alcanzando entre 3 y 4 metros por segundo.

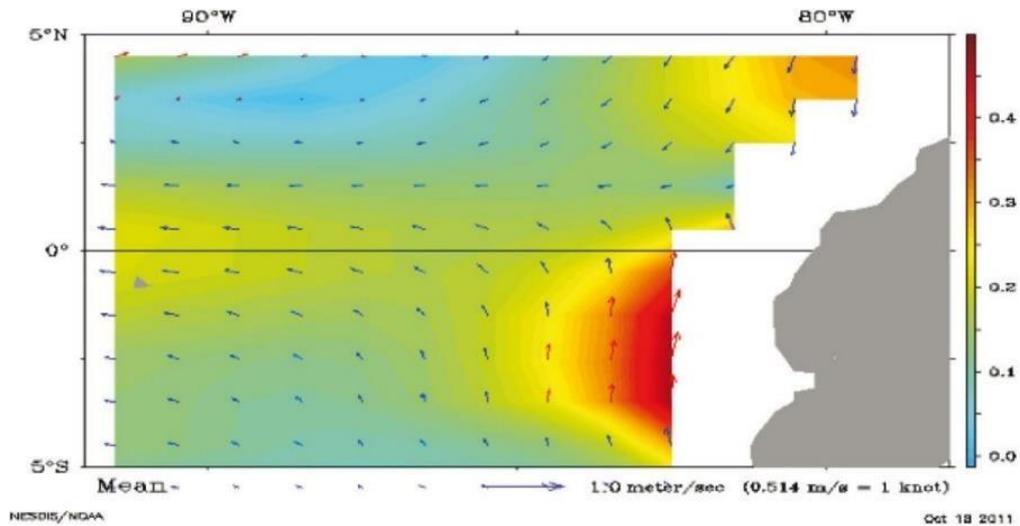


Figura 15 Velocidades promedio de las olas en la costa ecuatoriana.

Fuente: (Chimbo, & Rodríguez , 2016).

2.12 Marco Legal

El marco legal para presentar en este trabajo justifica su implementación real y legal. Hablaremos de la normativa que aplica al sector tecnológico, con énfasis en los aspectos ambientales, todo para dar soporte legal a la labor investigativa.

2.12.1 Constitución Nacional de la República del Ecuador.

La Asamblea Nacional de Ecuador en el año 2008 estableció un conjunto de lineamientos ambientales que asignan responsabilidades tanto al Estado como a los ciudadanos para proteger y conservar el medio ambiente. Estos lineamientos se encuentran en el segundo capítulo de la Constitución Nacional de la República del Ecuador.

En el Artículo 14 se establece que el derecho de las personas a vivir en un ambiente ecológicamente sano y sostenible es reconocido, asegurando el desarrollo sostenible y el Buen Vivir, Sumak Kawsay.

Además, se considera de bien común la protección del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad e integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la restauración de los espacios naturales.

En el Artículo 15 de la Constitución Nacional de la República del Ecuador, reza que el Estado alentará a los sectores público y privado a utilizar tecnologías limpias y fuentes de energía alternativas verdes con menor impacto en el medio ambiente. Además, se señala que la soberanía energética no se logrará a expensas de la soberanía alimentaria y no afectará el derecho al agua. También se prohíbe el desarrollo, producción, almacenamiento, venta, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agentes químicos, agrícolas, tecnológicos y biológicos internacionalmente prohibidos.

Asimismo, se prohíbe la importación de organismos experimentales y modificados genéticamente que sean nocivos para la salud humana o amenacen la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la importación de desechos radiactivos y tóxicos al territorio nacional.

Sí, cuando la Constitución se plantea la relación entre las nuevas tecnologías y el medio ambiente, se hace referencia al artículo 66, número 27, que establece el derecho a una vida sana, ecológicamente sostenible, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza. Esto estipula claramente que se garantiza a las personas que el lugar donde vivirán y se desarrollarán contará con todos los recursos necesarios para tener una calidad de vida sana en conjunto con la naturaleza.

En el caso de llevar a cabo proyectos que tengan un impacto en la naturaleza, el artículo 72 establece que se deben realizar estudios de impacto ambiental previos y se deben seguir las medidas necesarias para minimizar el impacto de dichos proyectos en el medio ambiente.

La naturaleza tiene derecho a ser restaurada, independientemente de las obligaciones estatales e individuales o legales de reparar los daños causados a las personas y grupos dependientes de los sistemas naturales afectados. En caso de impactos ambientales severos o de largo plazo, incluidos los resultantes de la extracción de recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos de restauración más efectivos e

implementará las medidas apropiadas para eliminar o minimizar los efectos negativos sobre el medio ambiente. Esto puede incluir medidas como la reforestación, la reparación de ecosistemas, y la eliminación de contaminación.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y DESARROLLO

3.1 Análisis y desarrollo para la aplicación de energía mareomotriz en la isla Santa Cruz.

En este capítulo se describe el análisis para seleccionar y ubicar las turbinas que captan energía, para la instalación de cada uno de estos elementos se debe tomar en cuenta las especificaciones técnicas, de acuerdo a las condiciones marinas del lugar donde serán ubicadas las turbinas que captan energía. Se revisarán los

3.2 Normativas legales para desarrollar centrales de energía renovable en Ecuador

La ley de régimen para el sector eléctrico en el artículo 63 menciona que CONELEC prioriza fondos a proyectos de electrificación en zonas rurales en base a recursos energéticos que provienen de la naturaleza y que en la actualidad son considerados no convencionales, el estado fomenta el uso y desarrollo de energía renovable a través de instituciones públicas, bancas de desarrollo, universidades y organizaciones privadas.

En el artículo 64 el consejo nacional de electrificación dicta normas para aplicar en el despacho de energía eléctrica que se produce con energía renovables para poder aprovecharlo y que tenga prioridad.

3.3 Selección de ubicación de proyecto e instalación de proyecto

La aplicación del proyecto se realizará en el puerto de la isla Santa Cruz ubicada en las Islas Galápagos, en donde determinaremos si es factible su instalación y que no sea perjudicial para la flora y fauna marina. En las siguientes imágenes se muestra la ubicación del proyecto que estará instalado frente al puerto de la isla Santa Cruz la distancia que tiene es de 250 metros de boya a puerto en una profundidad de unos 100 metros.



Figura 16 street view de la ubicación de las boyas de indicación de profundidad

Fuente: (Google Maps, 2023)

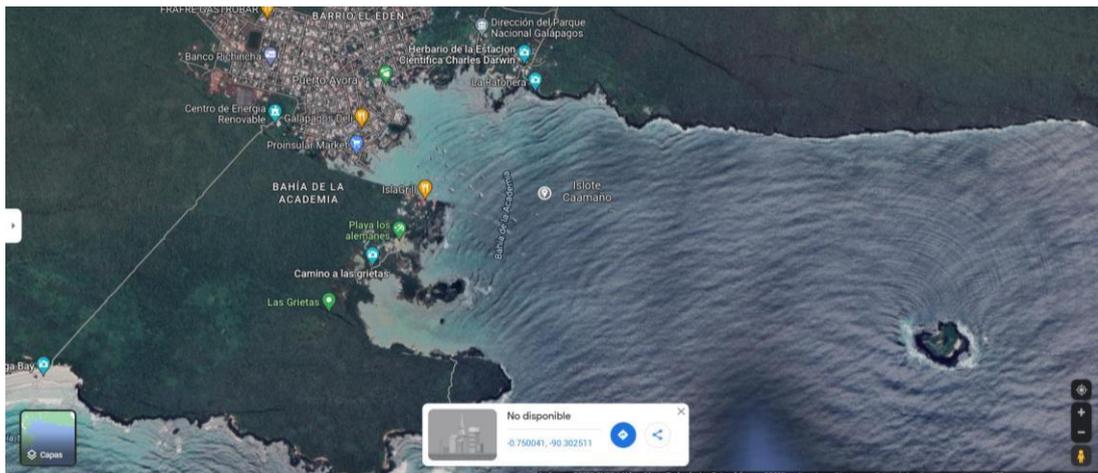


Figura 17 Coordenadas de ubicación de selección de instalación del proyecto.

Fuente: (Google Maps, s. f.)

Las mareas según la tabla 9 del INOCAR van desde los 0.2 hasta los 2 metros de altura en los meses de enero hasta marzo del 2023.

(ISLA_SANTA_CRUZ_1.pdf, s. f.).

Tabla 10

Predicción diaria de mareas en el Ecuador- Isla Santa Cruz (Galápagos) 2023

ENERO						FEBRERO						MARZO						
DIA	HORA hhmm	ALT. (m)	DIA	HORA hhmm	ALT. (m)	DIA	HORA hhmm	ALT. (m)	DIA	HORA hhmm	ALT. (m)	DIA	HORA hhmm	ALT. (m)	DIA	HORA hhmm	ALT. (m)	
1	0430	0.4	16	0314	0.6	1	0553	0.5	16	0454	0.5	1	0405	0.6	16	0311	0.6	
DO	1044	1.5	LU	0920	1.4	MI	1220	1.5	JU	1122	1.5	MI	1035	1.4	JU	0942	1.5	
	1637	0.6		1518	0.6		1818	0.7		1722	0.6		1637	0.8		1550	0.8	
	2252	1.6		2139	1.6					2328	1.6		2244	1.4		2156	1.6	
2	0529	0.4	17	0420	0.5	2	0020	1.5	17	0605	0.4	2	0518	0.6	17	0433	0.6	
LU	1150	1.5	MA	1035	1.4	JU	0648	0.4	VI	1230	1.6	JU	1148	1.4	VI	1103	1.6	
	1743	0.6		1629	0.6		1311	1.5		1832	0.5		1749	0.8		1712	0.7	
	2349	1.6		2243	1.6		1911	0.6					2356	1.5		2317	1.6	
3	0621	0.4	18	0524	0.4	3	0111	1.6	18	0037	1.7	3	0621	0.6	18	0546	0.5	
MA	1244	1.6	MI	1145	1.5	VI	0735	0.4	SA	0705	0.3	VI	1247	1.5	SA	1213	1.7	
	1841	0.6		1740	0.6		1355	1.6		1327	1.8		1847	0.7		1821	0.5	
				2347	1.7		1954	0.5		1931	0.4							
4	0041	1.6	19	0624	0.3	4	0154	1.6	19	0135	1.9	4	0051	1.5	19	0026	1.8	
MI	0708	0.3	JU	1246	1.6	SA	0814	0.3	DO	0757	0.1	SA	0710	0.5	DO	0647	0.3	
	1330	1.6		1844	0.5		1432	1.7		1417	2.0		1331	1.6		1309	1.9	
	1929	0.5					2032	0.5		2023	0.3		1932	0.6		1918	0.4	
5	0127	1.6	20	0048	1.8	5	0231	1.7	20	0226	2.0	5	0134	1.6	20	0122	1.9	
JU	0751	0.3	VI	0720	0.2	DO	0850	0.3	LU	0845	0.0	DO	0750	0.4	LU	0738	0.2	
	1411	1.6		1341	1.8		1507	1.7		1503	2.1		1407	1.7		1356	2.1	
	2011	0.5		1942	0.4	○	2108	0.4	●	2111	0.1		2010	0.5		2008	0.3	
6	0208	1.6	21	0144	1.9	6	0305	1.7	21	0313	2.0	6	0210	1.7	21	0211	2.0	
VI	0830	0.2	SA	0811	0.1	LU	0922	0.2	MA	0929	-0.0	LU	0824	0.4	MA	0823	0.1	
○	1449	1.7	●	1431	1.9		1539	1.8		1547	2.2		1440	1.8		1440	2.2	
	2050	0.4		2035	0.3		2141	0.4		2158	0.1		2044	0.4	●	2053	0.1	
7	0245	1.7	22	0236	1.9	7	0338	1.7	22	0359	2.0	7	0244	1.8	22	0257	2.0	
SA	0907	0.2	DO	0900	-0.0	MA	0953	0.2	MI	1012	-0.0	MA	0856	0.3	MI	0906	0.1	
	1525	1.7		1520	2.0		1610	1.8		1629	2.2	○	1510	1.9		1521	2.3	
	2126	0.4		2125	0.2		2215	0.4		2243	0.1		2116	0.4		2136	0.1	
8	0321	1.7	23	0326	2.0	8	0411	1.7	23	0445	2.0	8	0316	1.8	23	0341	2.1	
DO	0941	0.2	LU	0947	-0.1	MI	1024	0.2	JU	1054	0.1	MI	0926	0.3	JU	0948	0.1	
	1600	1.7		1607	2.1		1641	1.8		1711	2.1		1540	1.9		1600	2.2	
	2202	0.4		2215	0.1		2248	0.4		2327	0.1		2148	0.4		2217	0.1	
9	0356	1.6	24	0415	2.0	9	0445	1.7	24	0532	1.9	9	0348	1.8	24	0425	2.0	
LU	1015	0.2	MA	1033	-0.1	JU	1056	0.3	VI	1138	0.2	JU	0957	0.3	VI	1030	0.2	
	1634	1.7		1654	2.1		1712	1.9		1752	2.0		1609	2.0		1639	2.1	
	2237	0.4		2304	0.2		2323	0.4					2220	0.3		2258	0.1	
10	0431	1.6	25	0503	1.9	10	0520	1.7	25	0012	0.2	10	0421	1.8	25	0509	1.9	
MA	1048	0.3	MI	1118	0.0	VI	1128	0.3	SA	0621	1.8	VI	1028	0.3	SA	1112	0.3	
	1708	1.7		1740	2.1		1745	1.8		1224	0.4		1639	2.0		1718	2.0	
	2314	0.5		2354	0.2		2359	0.4		1835	1.9		2253	0.3		2338	0.3	
11	0507	1.6	26	0554	1.8	11	0559	1.6	26	0058	0.4	11	0457	1.8	26	0554	1.8	
MI	1122	0.3	JU	1204	0.1	SA	1204	0.4	DO	0713	1.6	SA	1101	0.4	DO	1157	0.5	
	1743	1.7		1827	2.0		1821	1.8		1315	0.5		1711	1.9		1759	1.8	
	2352	0.5								1923	1.7		2328	0.4				
12	0546	1.6	27	0045	0.3	12	0039	0.5	27	0150	0.5	12	0535	1.8	27	0020	0.4	
JU	1158	0.4	VI	0647	1.7	DO	0643	1.6	LU	0812	1.5	DO	1137	0.4	LU	0641	1.7	
	1820	1.7		1253	0.3		1244	0.5		1414	0.7		1747	1.9		1245	0.6	
				1915	1.9		1901	1.7	●	2021	1.5					1845	1.7	
13	0034	0.5	28	0139	0.4	13	0126	0.5	28	0253	0.6	13	0007	0.4	28	0108	0.5	
VI	0629	1.5	SA	0746	1.6	LU	0735	1.5	MA	0920	1.4	LU	0619	1.7	MA	0734	1.6	
	1237	0.4	●	1347	0.5		1333	0.6		1523	0.8		1219	0.6		1340	0.7	
	1901	1.7		2007	1.7	●	1952	1.7		2129	1.4		1828	1.8	●	1940	1.5	
14	0119	0.6	29	0238	0.4	14	0225	0.5	29	0053	0.5	14	0053	0.5	29	0207	0.6	
SA	0717	1.4	DO	0853	1.5	MA	0842	1.4		0713	1.6	MA	0713	1.6	MI	0835	1.5	
	1322	0.5		1450	0.6		1440	0.7		1313	0.6		1313	0.6		1444	0.8	
●	1947	1.6		2106	1.6		2056	1.6		1921	1.7	●	1921	1.7		2047	1.4	
15	0213	0.6	30	0343	0.5	15	0338	0.5	30	0318	0.7	15	0153	0.5	30	0318	0.7	
DO	0813	1.4	LU	1005	1.4	MI	1002	1.4		MI	0821	1.5	MI	0821	1.5	JU	0948	1.4
	1415	0.6		1601	0.7		1602	0.7			1426	0.7		1426	0.7		1556	0.8
	2039	1.6		2211	1.5		2211	1.6			2033	1.6					2203	1.4
			31	0450	0.5										31	0432	0.7	
			MA	1117	1.4										VI	1104	1.5	
				1714	0.7											1712	0.8	
				2319	1.5											2319	1.5	

HORA DE ZONA + 6

Fuente: Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR)

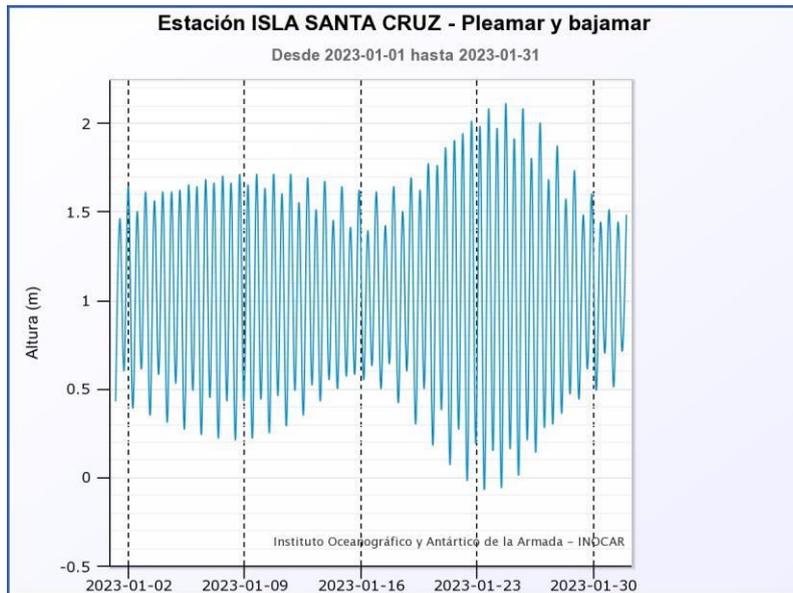


Figura 18 Grafico pleamar y baja mar

Fuente: Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR, s. f.)

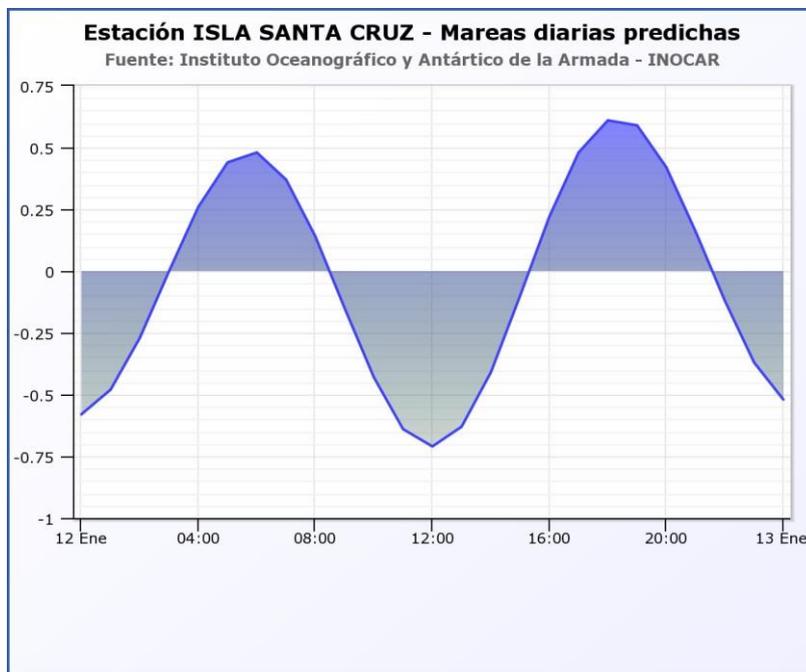


Figura 19 grafico marea diaria predicha

Fuente: Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR, 2023)

En la Figura 19 se muestra la previsión de olas durante 7 días en mar abierto con temperaturas desde los 22.8 °C como mínimo y 24.1 °C como máximo.

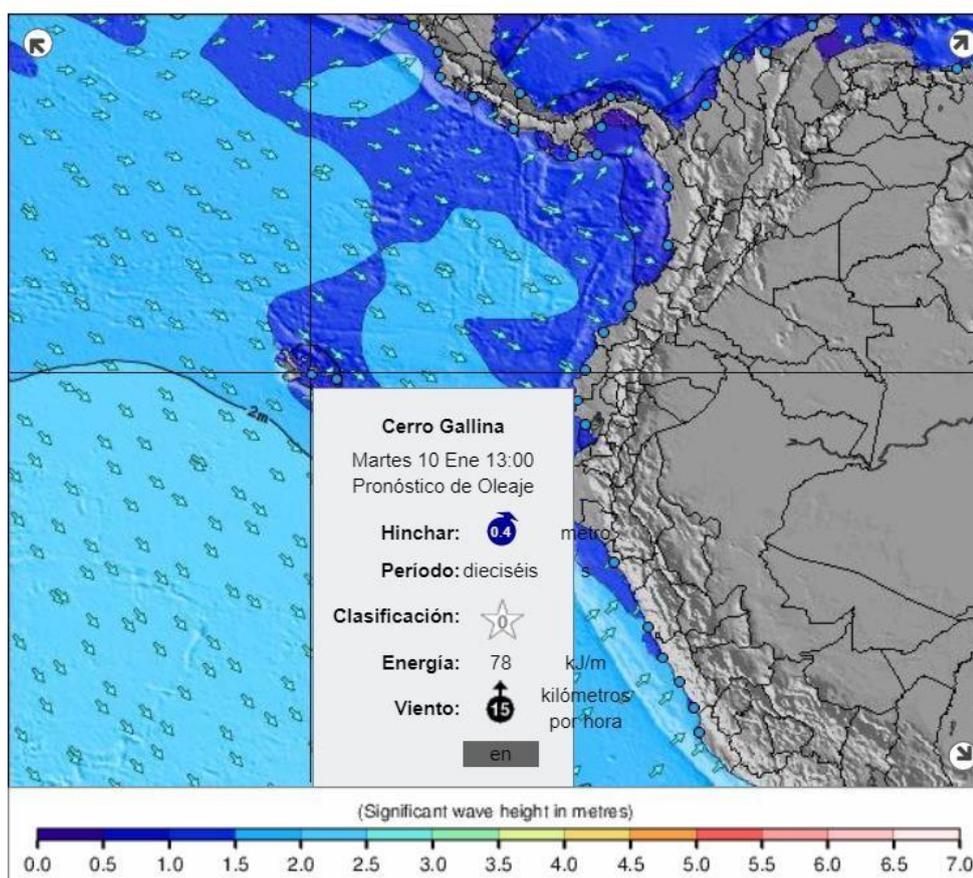


Figura 20 Altura Significativa de las Olas en metros

Fuente: (Mapas Animados de Olas (Oleaje) & Viento para Ecuador, s. f.)

3.4 Ecuaciones para selección de turbina

Para la selección de turbinas el cálculo es esencial porque se puede realizar la verificación y corrección de parámetros con una comprobación mediante banco de pruebas, en el mar el flujo es bidireccional . Para clasificar turbinas debemos incluir números puros sin unidades físicas para encontrar la velocidad específica.

Para seleccionar turbinas debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Numero especifico de revoluciones
- Costos
- Revoluciones del generador

Las ecuaciones que usaremos principalmente son la de numero de Brauer y la de numero de Camerer. Es necesario tener el caudal y la presión para seleccionar la turbina.

$$a. Nq = \frac{N_s \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

$$b. Ns = \frac{N_s \sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Las revoluciones por minuto de la turbina se representan con N_s ya que al instalarse genera 1 metro de salto neto con potencias de 15 Kw.

La velocidad angular es denominada como velocidad especifica o absoluta, su expresión matemática es:

$$n_s = \frac{n \times \sqrt{P}}{H^4 \sqrt{H}} = 1200 * \frac{(10)^{\frac{1}{2}}}{2.8 * (2.8)^{\frac{1}{4}}} = 1047 \text{ rpm}$$

En donde:

- n_s = velocidad especifica
- n = velocidad de sincronismo
- P = potencia de la turbina
- H = altura neta del salto

La velocidad que se acopla entre turbina y motor es llamada velocidad síncrona, el generador depende de la velocidad de la turbina en donde su frecuencia de red es de 50 Hz en España y 60 Hz en EE.UU.

La velocidad es la relación entre alternador y el número de pares de polos y su frecuencia, su ecuación es la siguiente:

$$f = \frac{z \times n}{60}$$

En Estados unidos $z \times n = 3600$

Tabla 11

Velocidad de alternadores según pares de polos

Pares de polos	Velocidad de alternador
1	3600
2	1800
3	1200
4	900

Fuente: (Gárate, s. f.)

La máxima velocidad es adquirida por el eje del grupo, cuando pasa rápidamente en plena carga a valores en vacío, el caudal máximo está completamente abierto, por un fallo en su regulación, por consiguiente, los elementos cortan paso de agua de la turbina, estos casos son denominados velocidad de fuga.

La ecuación de potencia está representada de la siguiente forma:

$$P = \rho \times g \times Q \times H_n$$

$$P = (1.025) * (9.8) * (189) * (2.8)$$

$$P = 5.3 \text{ Kw}$$

La potencia del eje de la turbina se mide en watios, la densidad del agua es $1\,023 \text{ kg/m}^3$ en agua salada, los caudales de las turbinas son medidos en m^3/s , el salto útil o desnivel es al que se le restan las cargas.

En la siguiente figura podemos ver los valores de eficiencia que representa cada turbina en función de las mareas, la eficiencia es la relación entre la energía que se produce en la turbina considerando los caudales de operación y sus cargas para el diseño.

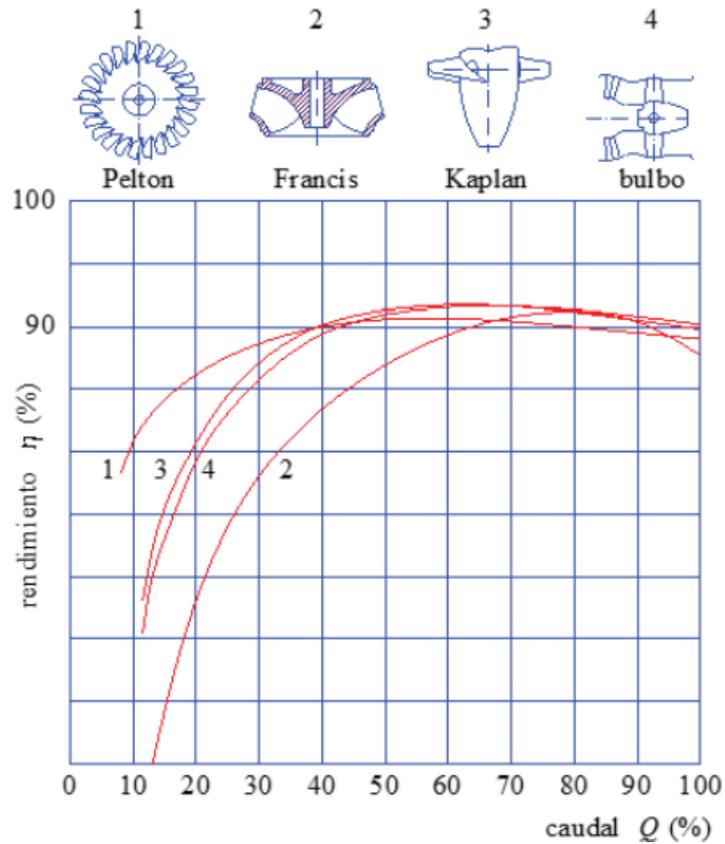


Figura 21 Eficiencia de Turbinas

Fuente: metodología para el diseño de turbinas en pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad menor a 10 MW (Hidalgo & Luis, 2015)

La ecuación del caudal mínimo depende del tipo de turbina en donde los valores de K son los siguientes:

$$Q_{min} = K \times Q_M$$

$$Q_{min} = (0.65) * (186)$$

$$Q_{min} = 120.9 \frac{m^3}{s}$$

El caudal mínimo para el diseño será de 120.9 m³/s se tuvo en cuenta los valores de la Tabla 1.

Tabla 12

Tipo de turbinas

Tipo de turbina	K
Pelton	0,1
Flujo cruzado	0,15
Semi-Kaplan	0,22
Kaplan	0,35
Francis	0,35
Hélice	0,65

Fuente:(Gárate, s. f.)

El rendimiento del generador se desarrolla entre el 93 % y el 98 % en su funcionamiento normal.

El número de unidades que se instalen dependerá del análisis técnico y económico, tomando en cuenta que no se afecte la flora y fauna marina y generando beneficios para el rendimiento de los cuneros de tortugas para que su temperatura sea equilibrada.

Aplicaremos el teorema de Bernoulli para la obtención de los caudales, mediante la sección fija de la turbina y la velocidad de paso, que provoca la diferencia de láminas de mareas altas y mareas baja.

$$H_A = H_B + \Delta h$$
$$H_A = h + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

El salto neto es el siguiente:

$$H_n = H_A - (H_B + \Delta H)$$

El hydrofolis son secciones de las palas de una turbina. La elevación de las palas hace que el rotor gire y genere potencia; la turbina depende de la eficiencia del tipo de hydrofoil ya que cada diseño de pala está diseñado con uno o varios tipos.

Cuanto más delgado sea más eficiencia tendrá, pero esto causa problemas ya que la pala debe aguantar cargas estructurales, por eso su hoja debe ser ancha cuando esté cerca del rotor, la fuerza de la hidrodinámica de fluidos actúa sobre la turbina es mucho mayor que la de los aerogeneradores.

El diseño de la pala debe aumentar el coeficiente de sustentación y disminuir el de resistencia al momento de girar, para que el rotor genere la potencia necesaria la proporción de los coeficientes de sustentación y arrastre debe ser los más altos posibles. (154616_diseño de una turbina para una central de energía mareomotriz.pdf, s. f.)

Las fuerzas provocadas por la presión están sometidas a cambios de viscosidad de fluido y cambios de velocidad.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho U^2 b c * C_d$$

$$F_l = \frac{1}{2} \rho U^2 b c * C_l$$

$$M_p = \frac{1}{2} \rho U^2 b c * C_m$$

ρ = densidad de fluido en kg/ m³

b = longitud perpendicular de la pala referente a la sección transversal de la pala

c = longitud de cuerda en metros

C_l, C_m, C_d = coeficientes de arrastre

U^2 = velocidad de fluido m/s

El coeficiente de presión en la cavitación de las palas genera problema, porque es adimensional.

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U^2}$$

$$\sigma = \frac{P_0 - P_v}{\frac{1}{2} \rho V^2}$$

Donde :

U= velocidad de flujo en m/s

ρ = densidad de fluido medido en Kg/m³

P= presión estática

P_∞ =Presion dinámica N/m²

P_0 =Presion inicial

P_v = presión de vapor

V_r = velocidad dinámica

Las zonas con más velocidad son excelentes para la cavitación porque las burbujas de vapor generan presión sobre la pala para que este vaya erosionando y genere ruido, la eficiencia de la turbina se reduce cuando existen grandes burbujas que dañan la superficie de la pala.

Las palas de la turbina deben tener 3 aletas para poder generar energía, la superficie inferior y superior tienen distancias medidas perpendicularmente desde la cuerda hasta la anchura del hydrofoil.

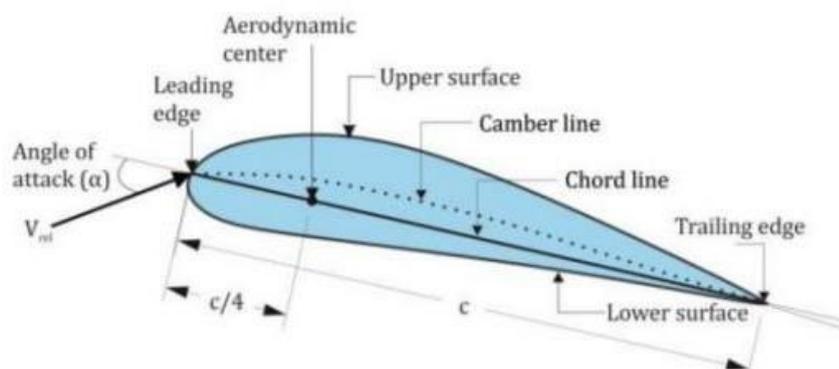


Figura 22 Partes del hydrofoil

3.5 Aprovechamiento de energía mareomotriz mediante generador

Para este proyecto debido a su sustentabilidad y costo de construcción se puede aplicar un generador TSG (Tidal Stream Generators o generadores mareomotrices) ya que estos son fuentes de energía renovable y su infraestructura es amigable con el medio ambiente, es discreta ya que su mayor parte esta debajo de la superficie del mar, sus jaulas son inofensivas con todo tipo de vida marina, la cual no afectaría el patrimonio marítimo de la Isla Santa Cruz, Galápagos, la energía que almacena es muchas veces mayor que la energía eólica. Los TSG tienen variaciones de potencia predecibles durante 12 horas para usarse como fuente de energía.

Los generadores comunmente usados en turbinas son las máquinas de jaula de ardilla y las máquinas síncronas PM, estas máquinas a pesar de ser costosas son seleccionadas por su menor generación de errores y mayor número de polos.

La velocidad del generador es constante, la potencia mecánica de las turbinas tiene un sistema de respuesta rápida y su valor de estado estacionario es de 0,8 pu. La entrada considerada debe tener valores de aproximadamente 4 m de arena, con plena carga de 2.25 %, su salida de instalación es estrella, ya que se encuentra el generador en corriente alterna.

Además, los TSG tienen una vida útil prolongada y requieren poco mantenimiento, lo que reduce el costo total de propiedad. Es importante destacar que la construcción de un proyecto de generadores TSG requiere una planificación cuidadosa y un estudio de impacto ambiental para garantizar que no se dañe la vida marina y el patrimonio marítimo de la isla.

Por último, es importante mencionar que los TSG son capaces de generar una gran cantidad de energía, muchas veces mayor que la energía eólica, lo que los convierte en una excelente opción para proyectos de energía renovable en zonas costeras.

Tabla 13

Parámetros utilizados

<i>Designacion</i>	<i>Simbolo</i>	<i>valor</i>	<i>unidad</i>
Tensión de alta potencia cuadratica media	V_s	1	<i>pu</i>
Turbina de potencia mecánica	P_m	0.8	<i>pu</i>
Parametros de la linea de transmisión + transformador de voltaje			
Reactancia del transformador de voltaje	X_T	0	<i>pu</i>
Reactancia de la linea de transmisión	X_L	0.294	<i>pu</i>
Reactancia de la linea de transmisión rota	X_s	$X_T+1/2 X_L$	<i>pu</i>
Parametros del generador síncrono			
Velocidad angular síncrona	ω_s	1	<i>pu</i>
Velocidad angular del rotor	ω_g	-	<i>pu</i>
Constante de amortiguamiento	D	0.1	<i>pu</i>
Constante de inercia	H	0.576	<i>sec</i>
Reactancia de eje directo síncrono	X_d	0.894	<i>pu</i>
Reactancia transitoria de eje directo síncrono	X'_d	0.64	<i>pu</i>
Constante de tiempo del circuito abierto del eje directo	T'_{do}	0.44	<i>sec</i>

Tabla 14

Parámetros de Generador

Turbine	Drive-Train	DFIG	Converter
$\rho = 1027 \text{ kg/m}^3$	$H_t = 3 \text{ s}$	$P_n = 1.5 \text{ MW}$	$V_{dc} = 1150 \text{ V}$
$R = 8 \text{ m}$	$H_g = 0.5 \text{ s}$	$U_{rms} = 690 \text{ V}$	$C = 0.01 \text{ F}$
$C_{p\max} = 0.44$	$K_{sh} = 2 \times 10^6 \text{ Nm/rad}$	$f_{req} = 50 \text{ Hz}$	
$\lambda_{opt} = 6.96$	$D_{sh} = 3.5 \times 10^5 \text{ Nms/rad}$	$R_s = 2.63 \text{ m}\Omega$	
$V_n = 3.2 \text{ m/s}$		$R_r = 2.63 \text{ m}\Omega$	Choke
		$L_s = 0.168 \text{ mH}$	$R_g = 0.595 \text{ m}\Omega$
		$L_r = 0.133 \text{ mH}$	$L_g = 0.157 \text{ mH}$
		$L_m = 5.474 \text{ mH}$	
		$p = 2$	

Según (Wani et al., 2020) el tamaño del generador está relacionado con su par nominal. Una máquina de alta velocidad debe tener un ensamblaje más bajo para lograr el mismo efecto, los costos de fabricación de estas máquinas son menos costosas; las turbinas giran a bajas velocidades la cual requieren engranajes entre turbina y generador.

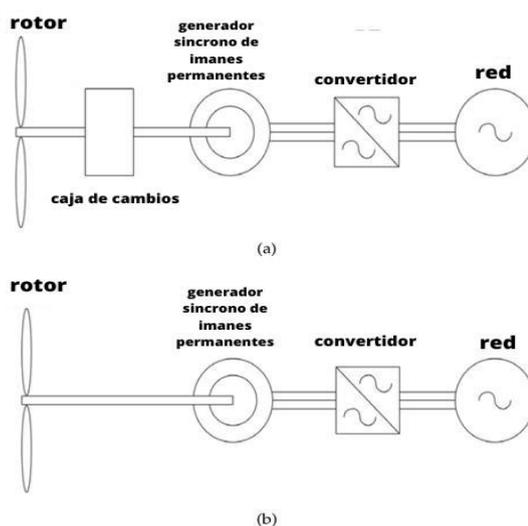


Figura 23 Ensamblaje de generador

3.6 Horas de uso

Las horas de uso del generador es para el horario desde las 05h:00 pm hasta las 10h:00 pm que es el horario laboral, para poder alimentar a las incubadoras en el horario nocturno sin complicación alguna.

3.7 Mantenimiento de generadores

Los costos de mantenimiento pueden reducirse gracias a la implementación de sistemas para monitorearlos, las fallas que se generan son relacionadas con la operación de la turbina de corriente marina, la rotación submarina es un componente del generador que está cargado de olas aleatorias y periódicas en donde el ciclo de amplitud es mayor que la energía eólica.(Kappatos et al., 2016)

3.8 Capacidad instalada

Cada uno de estos dispositivos tiene una generación 15 Kw y una potencia nominal de 850 Kv a 1.7 m/s; con rangos de altura de 1.3 m/s. para llegar al 1Mw necesitaríamos un total 60 generadores con sus turbinas respectivas, siempre y cuando se permita a través mediante el parque Nacional Galápagos, tomando en cuenta que Galápagos es patrimonio cultural de la humanidad.

3.9 Características de instalación

- Un cable soterrado debe exportar energía a puerto desde el generador TSG.
- Diseño de despliegue en profundidades
- Disyuntores
- Transformador elevador para aumentar el voltaje y enviar a la red, para así convertir la energía para uso en las incubadoras.
- Resistencia de neutro a tierra

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La incorporación de energía mareomotriz en las Islas Galápagos es una opción viable para la innovación energética y reducir el uso de combustibles fósiles, al estar en una ubicación privilegiada esto permite aprovechar las mareas para generar energía.

Las Islas Galápagos deben considerar la disponibilidad de instalación de estos equipos para la generación mareomotriz, ya que poseen una alta concentración de energía de mareas debido a la topografía y la geografía única que poseen por su ubicación cerca del Ecuador, la implementación de los generadores es óptima ya que ofrece potencias predecibles y son inofensivas para la fauna marina .

La ubicación del proyecto es cerca de las boyas de marea donde no afecta la navegación de los barcos de turismo a 250 metros de puerto, las tablas de marea son indicativos de la capacidad que nos pueden dar los generadores.

Al realizar los cálculos para encontrar la capacidad adecuada encontramos el generador ideal para la factibilidad del proyecto, ubicamos un generador para poder alimentar a los laboratorios donde se encuentran las incubadoras de tortugas.

Los principales beneficios de esta fuente de energía renovable es que produce energía limpia, no produce emisiones de gases invernaderos, ni contaminación de aire o agua, lo que la convierte en una opción atractiva para reducir la huella de carbono; este tipo de energía es predecible y constante ya que las mareas son un fenómeno regular.

El costo de implementación de estos sistemas mareomotrices, son costosos que otras fuentes de energía en etapa inicial, pero a largo plazo son más rentables debido a su bajo costo de mantenimiento y durabilidad.

4.2. Recomendaciones

Para la posterior implementación de este proyecto es necesario realizar los cálculos correspondientes para la instalación de una subestación para que pueda entregar energía a las incubadoras de tortugas de la estación "FAUSTO LLERENA", el impacto ambiental que crea la instalación de más turbinas para la generación de 1MW es mucho menor que las energías convencionales, por si afecta a la navegación marítima de barcos de turismo el cual afectaría la economía de la Isla Santa Cruz.

ANEXOS

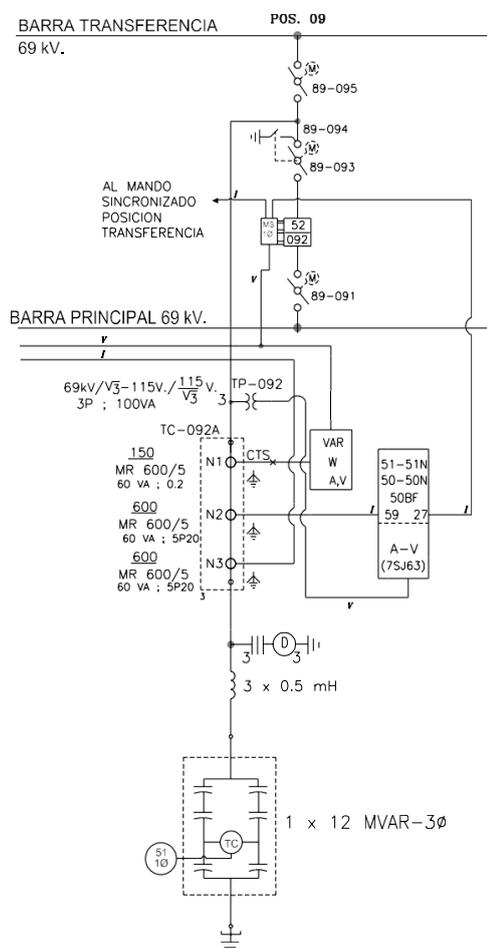
Manual de Operación de una subestación de 69kV

1. BAHÍA DE CAPACITORES

1.1. Antecedentes

La subestación está conformada de un patio de 138 kV, con un autotransformador trifásico de 44/53,3/66,7 MVA a 138/69/13,8 kV y un patio de 69 kV con 4 alimentadores hacia la empresa Eléctrica Santa Elena.

En el 2006 comenzaron a funcionar el banco de capacitores de 12 MVAR de 69 kV que se encuentra localizado en la bahía n° 09, son de tipo convencional con barra principal y transferencia, con interruptor de operación de mando sincronizado, en el siguiente grafico se encuentra su diagrama unifilar.



1.2. Equipo primario

1.2.1. Seccionador 89-091

Descripción Técnica

La serie de seccionadores SLA-3C de 3 columnas, para intemperie, son caracterizados por su ejecución de doble interrupción, con tres aisladores por cada polo siendo el central rotante. Los diseñan y construyen conforme a las recomendaciones IEC 129.

Caja de mando de seccionador

La serie CE de comandos a motor son aptos para el accionamiento de seccionadores series SLA-3C Y SLA-2C. Sus características principales son:

- Caja construida en chapa de acero.
- Reductor con lubricación permanente accionado por motor eléctrico.
- Accionamiento manual de las cuchillas principales por medio de manivela con dispositivo de desenclavamiento, además esta acción impide la maniobra por medio del motor.
- Puede dotarse de uno o dos árboles de salida, según el seccionador posea o no cuchillas de puesta a tierra. Los árboles están provistos de enclavamiento mecánico.

Placa de identificación LAGO	
TIPO	SLA 3C
Año de Construcción	2005
Frecuencia	60 Hz
Corriente Nominal	800 A
I de cresta	70 KA
O. de C. N°	P-56016
Serie	2357
Tensión nominal	69 kV
BIL	450 kV
I de breve duración	20 kA
1 seg.	
Peso Norma	



1.2.2. DISYUNTOR 52-092

Un disyuntor trifásico de SF6 de operación monopolar con mando sincronizado, marca ABB, tipo LTB 145 D1B.

El interruptor tiene un resorte de desconexión BLK-222 incorporado en el mecanismo operativo para una desconexión inmediata; esto se hace mediante un clip de conexión que mantiene el resorte bajo tensión y es el resorte de encendido/apagado del interruptor. Prepárate para la emoción. La palanca de desconexión mantiene el contacto cargado y el disyuntor de resorte listo para la desconexión inmediata. Las secciones de accionamiento de fase están ubicadas para cada fase en gabinetes separados, con conexiones de control y protección centralizadas en un panel frontal común.

El ciclo de maniobras normalizadas es: D-0.3s-CD-3min-CD (IEC) o CD-15s- CD (ANSI). Al realizar pruebas del interruptor y del sistema de relés que comprendan más de 3 conexiones, el tiempo entre cada conexión no debe ser inferior a 1 min.

Placa de identificación: ABB	
Interruptor Tipo	LTB145D1/B
Serie/número	1HSB0520007
Tensión	145 KV
Nivel de Aislamiento:	
Al impulso tipo rayo (LIWL)	650 KV
Al impulso tipo maniobra (SIWL)	-- KV
A frecuencia industrial	275 KV
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal	2000 A
Presión del gas SF6 abs. (+20°C):	
Máx. de Operación	0,90 MPa
Llenado	0,70 MPa
Señal(alarma)	0,62 MPa
Bloqueo	0,60 MPa
Volumen por polo	59 l

Mecanismo de operación tipo **BLK222**

Poder de Corte	40 kA
Factor de primer polo	1,5
Poder de cierre	104 kA
Corriente de corta duración 3seg.	40 kA
Corriente de interrupción de:	
Líneas de vacío	50 A
Masa Total	1868 kg
Secuencia de Operación	0-0.3s-CO-3min-CO
Año de Fabricación	2005
NORMAS IEC 62271-100	



1.2.3. SECCIONADOR 89-093 / 89-094

TIPO	SLAT 3C
Año de Construcción	2005
Frecuencia	60 Hz
Corriente Nominal	800 A
I de cresta	70 KA
O. de C. N°	P-56016
Serie	2361
Tensión nominal	69 KV
BIL	450 KV
I de breve duración 1 seg.	20 KA
Peso	499 kg
Norma	62271-102



1.2.4. SECCIONADOR 89-095

Placa de identificación LAGO

TIPO	SLA 3C
Año de Construcción	2005
Frecuencia	60 Hz
Corriente Nominal	800 A
I de cresta	70 KA
O. de C. N°	P-56016
Serie	2361
Tensión nominal	69 kV
BIL	450 kV
I de breve duración	20 kA
1 seg.	
Peso	460 kg
Norma	62271-102



1.2.5. TRANSFORMADOR DE TENSION (TP-092/ØA-ØB-ØC)

ABB Power Technology Products CE Made in Sweden	
Tipo	EMFC 72
Nivel de	140-350 KV
Aislamiento	
Tensión máx.	72,5 KV
Frecuencia	60 Hz
Normas	IEC60044-2
Factor de tensión	1,5/30s
Masa Total	190 kg
Año de	2005
Producción	
Relación	
A-N	69000//3 V
a1-n	115 V 100VA 3P
a2-n	115//3 V 100VA 3P
Serie	
Fase A	8705675
Fase B	8705676
Fase C	8705677



1.2.6. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE (TC – 092 / ØA-ØB-ØC)

ABB Power Technology Products CE Made in Sweden	
Tipo	IMB 72
Relación	IMB 72
Tensión máx.	600 : 5/5/5
Frecuencia	72.5 KV
Normas	60 Hz
Masa total	IEC60044-1
Corriente térmica	385 kg 720 A
continua	
Año de Producción	2005
Ith	20 kA / 1s
Distancia de fuga	2310 mm
Altitud de operación Máxima	1000 msnm
Idyn	50 kA
Temperatura	-30°C +40°C
SERIE	
Fase A	8705671
Fase B	8705669
Fase C	8705667
RELACION	
N1	600/5 60VA 5P20
N2	600/5 60VA 0,2
N3	600/5 60VA 5P20



1.2.7. PARARRAYOS (PY-092/ØA-ØB-ØC)

1.2.4. ABB	
Power Technology Products CE	
Tipo	PEXLIMQ060-
	XV072
Año	2005
SERIE	
Fase A	75091965/2005
Fase B	75091966/2005
Fase C	750919647/2005
Clase	10 KA
Ur	60 KV
	48kV
I limitadora de presión	5s kA
Made in Sweden	



1.2.8. TRANSFORMADOR DE CORRIENTE DE DESBALANCE (TC/ØA-ØB-ØC).

RS	
Transformador de Corriente	
Made in France	
Tipo	T24E
75-15 va	CI 1
Ui	24/50/1
Frecuencia	60 H
SERIE	
fase A	
fase B	
fase C	
Re	



1.2.9. REACTOR

AREVA INRUSH CURRENT LIMITING REACTOR	
Tipo	Bc-500/800
Potencia	120.6 kVAR
Ventilación	A. N.
L_N	0.5 mH
I_N	800 A
Z	0.188 Ω
Frecuencia	60 Hz
U_N	69 KV
BIL	325 kV_p
Norma	IEC-60289/88
Año	2005
Peso	115 kg



1.2.10. CAPACITORES

ABB		
Tipo	CHDB-162	
Peso	81 kg	
Capacitancia	10.03 μF	
I	50.2 A	
Frecuencia	60 Hz	
BIL	50/125 kV	
Q	666.7 KVAR	
Res. Int. de. descarga	4.500 MΩ	
Norma	IEC 60871-1/-97,-2/-87	
SERIE		
FASE A		
A1: 1HSDU507102 1	A2: 1HSDU507102 19	A3: 1HSDU507102 32
A4: 1HSDU507102 4	A5: 1HSDU507102 6	A6: 1HSDU507102 9
FASE B		
B1: 1HSDU507102 2	B1: 1HSDU507102 11	B1: 1HSDU507102 23
B1: 1HSDU507102 5	B1: 1HSDU507102 3	B1: 1HSDU507102 7
FASE C		
C1: 1HSDU507102 30	C1: 1HSDU507102 48	C1: 1HSDU507102 24
C1: 1HSDU507102 40	C1: 1HSDU507102 28	C1: 1HSDU507102 8



BANCO DE CAPACITORES OPLUS - A			
CONEXIÓN	Y0H	NORMA	IEC60871-1 1997
POTENCIA NOMINAL	12 MVAR	Tiempo entre desconexión y reconexión	135 seg.
TENSION	69 KV	Tiempo de descarga	50V 330 seg
FRECUENCIA	60 Hz	Referencia	5071-02
NIVEL DE AISLAMIENTO	325 KV	Año	2005
Fabricado en Suecia			



REFERENCIAS

- ámbito.com. (2022, junio 20). *Probarán en Mar del Plata y Quequén la energía undimotriz de las mareas*. ámbito.com.
<https://www.ambito.com/energia/energia/probaran-mar-del-plata-y-quequen-la-undimotriz-las-mareas-n5466843>
- Astaburuaga, A. I. (2015). *ENERGÍAS RENOVABLES EN EL SISTEMA MARÍTIMO PORTUARIO: APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS MOLINOS DE MAREA* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID].
https://oa.upm.es/39496/1/Alejandro_Ibanez_Astaburuaga.pdf
- Asamblea Nacional. (2008). Constitución Nacional de la República del Ecuador. Decreto Legislativo 0. Obtenido de
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Bienes Comunes. (2012).
<http://www.energias.bienescomunes.org/2012/10/03/que-es-la-energia-mareomotriz/#more-421>
- Castro, A. F. R. (2015). *18454654-Centrales-Mareomotrices*.
https://www.academia.edu/16490906/18454654_Centrales_Mareomotrices
- Chimbo Campuzano, M. J., & Rodríguez Santos, R. R. (2016). APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA UNDIMOTRIZ EN EL ECUADOR. *Ingenius*, 17, 23.
<https://doi.org/10.17163/ings.n17.2017.03>
- CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD. (s/f). Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental. En A. E. S. A. (Ed.), *PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN 2013 - 2022*. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de
<https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/17.2017.03/1567>
- Consejo Nacional de Planificación. (2018). *El Plan Maestro de Electricidad (PME) 2017 – 2021*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/4.-EXPANSION-DE-LA-GENERACION.pdf>
- De, F., Ambientales, C., Alexis, R., Llanos, B., & Cedeño, E. L. (2020, octubre 9). "LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL

DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL ECUADOR A PARTIR DEL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES” UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK. Edu.ec.
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/4023/1/Rommel%20Alexis%20Barrag%C3%A1n%20Llanos.pdf>

Ecuador, E. (2015). *INVENTARIO DE RECURSOS ENERGÉTICOS DEL ECUADOR CON FINES DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA -2015 PRESENTACIÓN*. Gob.ec. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2015/11/Presentaci%C3%B3n-y-contenido-Inventario-Recursos-Energ%C3%A9ticos-2015.pdf>

ELECGALAPAGOS S.A. (s. f.). Recuperado 22 de febrero de 2023, de <https://www.elecgalapagos.com.ec/>

Energía Mareomotriz: así funcionan las centrales. (2022, febrero 15).

Totalenergias.es; TotalEnergies.
<https://www.totalenergias.es/es/pymes/blog/energ%C3%ADa-turbinas-y-centrales-mareomotrices>

energía mareomotriz: Perspectiva histórica y actual. (s. f.). , de <https://www.tecnicaindustrial.es/wpcontent/uploads/Numeros/86/1488/a1488.pdf>

Energia-mareomotriz.pdf. (s. f.). Recuperado 22 de febrero de 2023, de <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2021/06/Energia-mareomotriz.pdf>

Gárate, J. L. A. (s. f.). *ALEJANDRO IBÁÑEZ ASTABURUAGA INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS*.

García, H. E. M. (2016). Estudio de pre-factibilidad para generación de energía mareomotriz en la Costa Pacífica Colombiana.

Google Maps. (s. f.). Google Maps. https://www.google.com/maps/@-0.7520153,90.3018673,3a,45y,11.55h,75.67t/data=!3m8!1e1!3m6!1sAF1QipNG_bB238OnHulBw7ywbGaQLHwTLbX1nT45ao06!2e10!3e11!6shhttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipNG_bB238OnHulBw7ywbGaQLHwTLbX1nT45ao06%3Dw203-h100-k-no-pi-10-ya340-ro0-fo100!7i7932!8i3966?hl=e

Hidalgo, G., & Luis, J. (s. f.). *Metodología para el diseño de turbinas en pequeñas centrales hidroeléctricas con capacidad menor a 10 MW-con ejemplo de aplicación*.

- INOCAR, S. (s. f.). *Tabla de mareas puertos del Ecuador* [Instituto oceanográfico y antártico de la Armada]. Recuperado 12 de enero de 2023, de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/productos/tabla-mareas>
- INEC, *Memoria_Estadistica_Galapagos_2017.pdf*. (s. f.). Recuperado 22 de febrero de 2023.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Memoria_Estadistica_Galapagos_2017.pdf
- ISLA_SANTA_CRUZ_1.pdf*. (s. f.). Recuperado 9 de enero de 2023, de https://www.inocar.mil.ec/mareas/TM/2023/trimestral/ISLA_SANTA_CRUZ_1.pdf
- Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada - Oleaje y aguaje*. (s/f). Mil.ec. Recuperado el 7 de diciembre de 2022, de <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/boletines/oleaje-y-aguaje>
- Jo, C. H., Yim, J. Y., Lee, K. H., & Rho, Y. ho. (2012). Performance of horizontal axis tidal current turbine by blade configuration. *Renewable Energy*, 42, 195–206. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.08.017>
- Kappatos, V., Georgoulas, G., Avdelidis, N. P., & Salonitis, K. (2016). Tidal stream generators, current state and potential opportunities for condition monitoring. *Vibroengineering PROCEDIA*, 8, 285-293.
- López-Villada, J., Fuertes, F., Vaca, C., & Cárdenas, D. (2016). *Análisis de las oportunidades de I+D+i en Eficiencia Energética y Energías Renovables en Ecuador. Un enfoque desde el sector académico*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2849.1760>
- Mapas Animados de Olas (Oleaje) & Viento para Ecuador*. (s. f.). Recuperado 10 de enero de 2023, de https://es.surf-forecast.com/weather_maps/Ecuador?hr=12&over=none&type=htsgw
- Mareas - INNOVA oceanografía litoral*. (2021, febrero 8). INNOVA oceanografía litoral. <https://www.oceanografialitoral.com/pregunta-frecuente/mareas/>
- Medina, P. J. V. (2021). *DISEÑO DE UN MINI GENERADOR UTILIZANDO FUERZA MAREOMOTRÍZ PARA PRODUCIR ENERGÍA RENOVABLE HUACHO*. UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓ.

Montaño, L. A. G., & Ramirez, W. Y. B. (2008). *Facultad de Ingeniería Eléctrica Universidad De La Salle*. 88.

Moro Hernandez, J. (2013). *Mareas*. Createspace Independent Publishing Platform.

OES. (2014). *Ocean Energy in the World*. Ocean-energysystems.org.
<http://www.ocean-energysystems.org/ocean-energy-in-the-world/>

Quintero González, J. R., & Quintero González, L. E. (2016). Sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz (Production systems and energy potential of tidal energy). *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(1), 39.
<https://doi.org/10.19053/1900771x.4078>

Quintero, J., & Quintero, L. (2015). Energía mareomotriz: potencial energético y medio ambiente. *Gestión y Ambiente*, 18(2), 121–134.

https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/328658/154616_dise%c3%b1o%20de%20una%20turbina%20para%20una%20central%20de%20energ%c3%ada%20mareomotriz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vermaak, H. J., Kusakana, K., & Koko, S. P. (2014). Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 625–633.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.066>

Vista de Sistemas de producción y potencial energético de la energía mareomotriz. (2015, octubre 2). Edu.co.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/4078/4150

Wani, F., Dong, J., Polinder, H., Wani, F., Dong, J., & Polinder, H. (2020). Tidal Turbine Generators. En *Advances in Modelling and Control of Wind and Hydrogenerators*. ItechOpen <https://doi.org/10.5772/intechopen.90433>

Zamora, I. V. G. (2019). *ENERGÍA MAREOMOTRIZ*.
<http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2021/06/Energia-mareomotriz.pdf>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Einher Margoth Preciado Torres**, con C.C: **0940430556** autor/a del trabajo de titulación: **“Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos”** previo a la obtención del título de **Ingeniera en Electricidad** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **13 de febrero de 2023**

Nombre: **Preciado Torres, Einher Margoth**

C.C: **0940430556**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	"Análisis de estudio y aprovechamiento de la energía mareomotriz para la generación eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos"		
AUTOR(ES)	Preciado Torres, Einher Margoth		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Hidalgo Aguilar Jaime Rafael		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Electricidad		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniera en Electricidad		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de febrero de 2023	No. DE PÁGINAS:	59
ÁREAS TEMÁTICAS:	Energía Renovables, Energía mareomotriz, Generación Eléctrica		
PALABRAS CLAVES /KEYWORDS:	Turbinas, generador eléctrico, energía renovable, medio ambiente, flora, fauna, recurso natural.		

RESUMEN El presente trabajo de titulación se desarrolla para la obtención del título de ingeniera en electricidad, tiene como objetivo analizar el uso de boyas de energía en el mar para generar energía eléctrica en los cuneros de tortugas de la isla Santa Cruz- Galápagos, mediante el rozamiento mecánico que se produce con la marea y las olas activando su generador eléctrico; el más grande depósito de energía natural proviene del océano el cual se puede aprovechar de diferentes maneras. El principal motivo para desarrollar este proyecto es contribuir al medio ambiente, usando energía renovable, no invasiva para la flora y fauna marina, al igual que abastecer de energía a los cuneros de tortugas, también para que los estudiantes de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil adquieran conocimientos de este recurso natural para poder realizar su aplicación en el futuro.

ADJUNTO PDF:	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CO NAUTOR/ES:	Teléfono: +593-958607894	E-mail: einher.preciado@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Celso Bayardo Bohorquez Escobar	
	Teléfono: +593-9-95147293	
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	